



Liikenne- ja
viestintäministeriö

Energiatehokkuus logistiikassa

Logistiikan energiatehokkuuden
mittaaminen ja parantaminen

Liikenne- ja viestintäministeriön

toiminta-ajatus

Liikenne- ja viestintäministeriö edistää yhteiskunnan toimivuutta ja väestön hyvinvointia huolehtimalla siitä, että kansalaisten ja elinkeinoelämän käytössä on laadukkaat, turvalliset ja edulliset liikenne- ja viestintäyhteydet sekä alan yrityksillä kilpailukykyiset toimintamahdollisuudet.

visio

Suomi on eturivin maa liikenteen ja viestinnän laadussa, tehokkuudessa ja kansainvälisessä osaamisessa.

arvot

Rohkeus

Oikeudenmukaisuus

Yhteistyö



Julkaisun nimi

Energiatehokkuus logistiikassa - logistiikan energiatehokkuuden mittaaminen ja parantaminen

Tekijät

Erika Kallionpää, Jarkko Rantala ja Hanna Kalenoja
Tampereen teknillinen yliopisto, Tiedonhallinnan ja logistiikan laitos

Toimeksiantaja ja asettamispäivämäärä

Liikenne- ja viestintäministeriö

Julkaisusarjan nimi ja numero

**Liikenne- ja viestintäministeriön
julkaisuja 25/2010**

ISSN (verkkojulkaisu) 1795-4045
ISBN (verkkojulkaisu) 978-952-243-169-1
HARE-numero

Asiasanat

Energiankulutus, logistiikka, toimitusketju, hiilidioksidipäästöt

Yhteyshenkilöt

Jari Gröhn

Tiivistelmä

Logistiikassa energiatehokkuuden mittaamiseen ei ole vielä vakiintunutta käytäntöä ja tarkastelut on tyypillisimmin rajattu tuotteiden kuljetusketjuihin. Koko toimitusketjun kattava tase-rajaus sisältää raaka-aineiden hankinnan ja tuotannon, raaka-aineiden ja välituotteiden tulo-logistiikan, tuotannon, lähtölogistiikan sekä tuotteiden toimituksen asiakkaalle. Logistiikan energiatehokkuutta on mitattu tyypillisimmin kuljetussuoritepohjaisilla mittareilla, kuten kuljetusten energiankulutuksella. Toimitusketjun tasolla on usein tarpeellista laskea yhteen toimitusketjun eri osien energiankulutusarvoja, jolloin on mahdollista tarkastella koko logistisen ketjun energiatehokkuutta. Logistiikan energiatehokkuutta on mitattu esimerkiksi kumulatiivisella energiankulutuksella, kuljetusintensiteetin ja kuljetusjalanjäljen avulla sekä erilaisilla välillisillä mittareilla, kuten veden, sähkön ja primäärienergiankulutuksen avulla.

Tulosten perusteella kumulatiiviset energiankulutusarvot ja hiilidioksidipäästöt soveltuvat hyvin energiatehokkuuden mittaamiseen ja niiden avulla on mahdollista tunnistaa eniten energiaa kuluttavia toimitusketjun osia ja energiatehokkuustoimenpiteitä. Logistiikan energiatehokkuustoimenpiteet kohdentuvat tuotesuunnitteluun, tuotannon suunnitteluun sekä lähtö- ja tulologistiikan suunnitteluun.

Paperi- ja metalliteollisuudessa koko toimitusketjun energiankulutuslaskennat osoittavat, että suurin osa energiasta kuluu tuotannossa ja raaka-aineiden valmistusvaiheessa. Koska paperi- ja metalliteollisuus ovat kohtalaisen energiantensiivisiä, tuotannon osuus kokonaisenergiankulutuksesta on noin kaksi kolmasosaa ja raaka-aineiden valmistus ja kuljetus vastaa

20–28 % kokonaisenergiankulutuksesta. Kuljetusten osuudeksi energiankulutuksesta tarkastelluissa toimitusketjuissa muodostuu 11–13 % koko energiankulutuksesta. Siten kuljetusketjun valinta vaikuttaa tutkituissa toimitusketjuissa 1–4 prosenttiyksikköä kokonaisenergiankulutukseen. Kuljetusketjujen valinnoilla ja energiatehokkuusparannuksilla voidaan osaltaan vaikuttaa koko toimitusketjun kustannustehokkuuteen ja energiatehokkuuteen. Tarkasteltujen perusteellisuuden toimitusketjujen kuljetusketjut ovat tyypillisesti luonteeltaan bulkkikuljetuksia, joissa täyttöaste saadaan korkeaksi ja joissa on mahdollista suosia energiatehokkaita ja kustannustehokkaita kuljetusmuotoja. Perusteellisuuden toimitusketjukohtaisia tarkastelujen tuloksia ei ole suoraan mahdollista yleistää muille toimialoille, joissa tulo- ja lähtölogistiikan merkitys on koko toimitusketjun energiankulutuksen kannalta perusteellisuutta suurempi.

Publikation

Energieffektivitet i logistik - bedömning och förbättring av energieffektivitet i logistik

Författare

Erika Kallionpää, Jarkko Rantala och Hanna Kalenoja
Tammerfors tekniska universitet

Tillsatt av och datum

Kommunikationsministeriet

Publikationsseriens namn och nummer

**Kommunikationsministeriets
publikationer 25/2010**

ISSN (webbpublikation) 1795-4045
ISBN (webbpublikation) 978-952-243-169-1
HARE-nummer

Ämnesord

Energiförbrukning, logistik, supply chain management, koldioksidutsläpp

Kontaktpersoner

Jari Gröhn

Övriga uppgifter

Rapporten är på finska.

Sammandrag

Det finns ingen vedertagen praxis att mäta energieffektivitet i logistik och bedömningen har oftast begränsats i produkters transportkedjor. Granskning av hela försörjningskedjan innehåller produktion och ackvisition av råmaterial, råmaterial- och mellanproduktlogistik, produktion, distributionslogistik och leveranser till kunder. Energieffektivitet har i logistik utvärderats oftast med indikatorer knutna till transportarbete, t.ex. energiförbrukning av transporter.

När beräkningen av energieffektivitet utsträcks till den hela försörjningskedjan, är det nödvändigt att sammanlägga energiförbrukning i varje del av kedjan. Logistikkedjans energieffektivitet har bedömts med t. ex. kumulativ energiförbrukning, transportintensitet och transportfotspår samt med hjälp av indirekta indikatorer som förbrukning av vatten, elektricitet och primärenergi. Enligt resultat kan den kumulativa energiförbrukningen och koldioksidutsläppen tillämpas i värdering av försörjningskedjans energieffektivitet, i identifiering av energiintensiva delar av kedjan och i värdering av åtgärder för förbättring av energieffektivitet. Åtgärder för förbättrad energieffektivitet inriktar sig till produktplanering, produktionsplanering och planering av logistik.

Energiförbrukningsresultat från case-studier av pappers- och metallindustri bevisar, ett av de mest energikrävande delar av försörjningskedjan är produktion och produktion av råmaterial. Eftersom pappers- och metallindustri är relativt energiintensiva branscher, produktionens del av den totala energiförbrukningen är en tredjedel och produktion och transporter av råmaterial ansvarar för 20–28 % av den totala energiförbrukningen. Transporternas andel av energiförbrukningen i studerade försörjningskedjor var 11–13 % av den totala energikonsumtionen. Därmed planering av transportkedjan påverkar den totala energiförbrukningen med 1–4 procentenhet i de studerade försörjningskedjor. Transportkedjor utgörs i basindustrin oftast transporter av bulkgoods, vilket möjliggör höga fyllningsgrader och favorisering av energi- och kostnadseffektiva transportsätt. Det är ändå inte möjligt att generalisera resultat till övriga branscher, där logistikens betydelse för energiförbrukningen av den totala försörjningskedjan är större än i basindustrin.



Date
17 June 2010

Title of publication

Measuring and improving energy efficiency of logistics

Author(s)

Erika Kallionpää, Jarkko Rantala ja Hanna Kalenoja
Tampere University of Technology,
Department of Business Information Management and Logistics

Commissioned by, date

Ministry of Transport and Communications

Publication series and number

Publications of the Ministry of Transport and Communications 25/2010

ISSN (online) 1795-4045
ISBN (online) 978-952-243-169-1
Reference number

Keywords

Energy consumption, logistics, supply chain, carbon dioxide emissions

Contact persons

Mr Jari Gröhn

Other information

The report is in Finnish

Abstract

In the logistics there is not an established practice for the measurement of energy efficiency. Traditionally the focus in the assessment of environmental effects of logistics has been on transport chains of products. The system boundaries for whole supply chain include raw material acquisition and production, inbound logistics of raw material and intermediate products, production, outbound logistics and the delivery of the products to the customers. Many of the relevant measures to evaluate the energy efficiency of logistics are based on transport mileage, like energy consumption of transport. It is often necessary to sum up the energy consumption values from different phases of supply chain in order to examine the energy efficiency of the whole supply chain. The energy efficiency of logistics has been measured for example with cumulative energy consumption, transport intensity and transport footprint and other indirect indicators, such as consumption of water, electricity and primary energy.

According to the results the cumulative energy consumption and carbon dioxide emissions can be applied as indicators of energy efficiency of supply chains. These indicators can be used in identifying the most energy-intensive consuming phases of supply chain phases and in identifying suitable measures to improve energy efficiency. Energy efficiency actions in logistics focus on product design, production planning and on the inbound and outbound logistics.

Energy consumption calculations of paper and metal industry show that major part of the total energy consumption consists of production and producing raw materials. As both paper and metal industry are relatively energy-intensive, production covers almost two thirds and producing raw materials and transportation 20–28 % of the total energy consumption. In examined supply chains the share of transport operations is 11–13 % of the total energy consumption. By planning the transport chain the total energy consumption can be reduced by 1-4 percentage units. Examined transport chains of process industry supply chains involve typically bulk transports with high load factor. In bulk transports there is also possibility to favor energy and cost efficient transport modes. However, the results can not directly be generalized to all industrial branches, as in other branches the importance of inbound and outbound logistics to the energy consumption of the total supply chain is greater than in process industry. slightly from previous years.

ESIPUHE

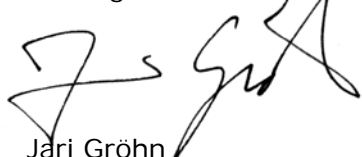
Yhteiskunnalla on monia, osittain ristiriitaisiakin tavoitteita. Yleisesti on hyväksytty pyrkimys kestävään kehitykseen, mutta tilanteesta riippuen taloudellisten, sosiaalisten ja ympäristöllisten osatekijöiden painotukset vaihtelevat. Arvostuksista riippuen kehityksen oikeasta suunnasta voi olla erilaisia näkemyksiä. Energiatehokkuus on asia, jossa taloudelliset ja luontoon liittyvät intressit ovat pääsääntöisesti samansuuntaiset.

Suomi on niin kansallisissa kuin kansainvälisissä tavoitteissaan sitoutunut energiatehokkuuden parantamiseen. Energiatehokkuuden mittaamiseen ei kaikilla toimialoilla ole vielä vakiintuneita käytäntöjä, mikä osaltaan vaikeuttaa energiatehokkuustoimenpiteiden suunnittelua ja kohdentamista. Logistiikan energiatehokkuutta on yleisesti totuttu mittaamaan tuotekuljetusten energiatehokkuuden kautta. Kun tarkastellaan toimitusketjua raaka-aineista valmistuksen kautta asiakkaalle, tulevat laskennan taserajaan mukaan myös hankinnan ja tuotannon energiankulutukset.

Tässä raportissa on kartoitettu logistiikan energiatehokkuuden mittaamiseen soveltuvia menetelmiä ja sovellettu energiatehokkuuden laskennan menetelmä metalli- ja paperiteollisuuden toimitusketjujen energiatehokkuuden arvioinnissa. Tutkimus on osa laajempaa tutkimushanketta *Energiatehokkuuden mittarit ja potentiaalit (EPO)*, joka on toteutettu osana Tekesin Climbus-ohjelmaa. EPO-hankkeessa on tutkittu energiaa kuluttaville sektoreilla - teollisuus, rakennukset, yhdyskunnat, energiantuotanto ja logistiikka - soveltuvia energiatehokkuuden mittareita. Hanketta on koordinoanut Aalto-yliopiston energiatekniikan laitoksen teollisuuden energiatekniikan tutkimusryhmä, joka on vastannut hankkeessa myös teollisuuden tutkimusosioista. Rakennusten, yhdyskuntien ja energiantuotannon tutkimusosuuksista on vastannut VTT. Logistiikan tutkimusosuuden on toteuttanut Tampereen teknillinen yliopisto, jossa tutkimukseen ovat osallistuneet erikoistutkija Hanna Kalenoja, tutkija Erika Kallionpää ja vanhempi tutkija Jarkko Rantala tiedonhallinnan ja logistiikan laitokselta. Logistiikan tutkimusosuuden päätulokset on koottu tähän erillisraporttiin.

Logistiikan tutkimusosuutta on ohjannut ohjausryhmä, johon ovat kuuluneet yli-insinööri Jari Gröhn liikenne- ja viestintäministeriöstä, asiantuntija Tiina Haapasalo Elinkeinoelämän keskusliitosta, toimitusjohtaja Mikko Melasniemi LOGY ry:stä, asiantuntija Vesa Peltola Motiva Oy:stä ja projektipäällikkö Mari Tuomaala TKK:lta. Lisäksi ohjausryhmään on kuulunut Paavo Siurua Rautaruukki Oyj:stä. UPM Kymmene Oy:tä ohjausryhmässä ovat edustaneet Sari Karppala, Jukka Hölsä ja Mika Koponen.

Helsingissä 17. kesäkuuta 2010



Jari Gröhn
yli-insinööri
Liikenne- ja viestintäministeriö

Sisällysluettelo

1.	Johdanto	3
1.1	Taustaa	3
1.2	Tutkimuksen tavoitteet	4
1.3	Tutkimusvaiheet ja tutkimusmenetelmät	5
2.	Logistiikan energiatehokkuuden mittaaminen	6
2.1	Logistiikan energiatehokkuuden kehitys.....	6
2.2	Logistiikan energiatehokkuuden mittaamisen taserajat	11
2.3	Energiatehokkuuden mittaaminen logistiikassa	14
3.	Energiatehokkuuden parantamiseen soveltuvia toimenpiteitä.....	23
3.1	Energiatehokkuustoimenpiteiden ryhmittely ja hierarkia	23
3.2	Raaka-aineiden tuotanto ja hankintalogistiikka	26
3.3	Tuotanto ja tuotesuunnittelu.....	28
3.4	Lähtölogistiikka.....	32
3.5	Paluukuljetukset	35
4.	Case-tutkimus logistiikan energiatehokkuuden mittaamisesta	37
4.1	Case-kohteet.....	37
4.1.1	Case-kohteiden valinta	37
4.1.2	Yksikköpäästökertoimet energiankulutuksen ja hiilidioksidipäästöjen laskennassa	38
4.2	Metalliteollisuustuotteiden toimitusketjujen energiatehokkuus	38
4.2.1	Toimitusketjun kuvaus ja rajaukset	39
4.2.2	Raaka-aineiden hankinta.....	39
4.2.3	Tuotannon energiankulutus	39
4.2.4	Kuljetusketjujen kuvaus ja energiankulutus	40
4.2.5	Toimitusketjujen energiatehokkuus	49
4.3	Paperituotteiden toimitusketjujen energiatehokkuus.....	52
4.3.1	Toimitusketjun kuvaus ja rajaukset	52
4.3.2	Raaka-aineiden hankinta.....	52
4.3.3	Tuotannon energiankulutus	52
4.3.4	Kuljetusketjujen kuvaus ja energiankulutus	53
4.3.5	Toimitusketjujen energiatehokkuus	56
5.	Yhteenveto ja päätelmät.....	58
	Lähteet.....	64

1. Johdanto

1.1 Taustaa

Liikenteen energiankulutuksen on tulevana vuosina arvioitu kasvavan huomattavasti, sillä niin henkilö- kuin tavaraliikenteenkin kysyntä kasvaa. Vaikka liikenteen ominaisenergiankulutusluvut ovatkin pienentyneet, nopeiden ja tehokkaiden liikennemuotojen suosio on lisännyt osaltaan energiankulutusta. Kansainvälinen ilmastopaneeli IPCC on kartoittanut liikenteen energiankulutuksen hillintään tähtäävien keinojen toteuttamismahdollisuuksia, sillä liikenteessä polttoaineet ovat hyvin todennäköisesti vielä tulevana vuosikymmeninäkin öljyperäisiä polttoaineita, joiden vaikutus ilmastomuutokseen on huomattava. Energiatohokkuuden parantamiselle on liikennesektorilla erityisen suuria haasteita, sillä liikenteen kysynnän on arvioitu jatkavan kasvuaan. Erityisiä kasvualueita ovat globaalin energiankulutuksen kannalta lentoliikenne, tavaraliikenne sekä kehittyvät maat, joiden autotumismäärä on vielä nykyisin alhainen. (IPCC 2007)

Yritysten liiketoimintaympäristö on muuttunut viime vuosikymmenten aikana ja logististen prosessien hallinnasta on tullut kansainvälisillä markkinoilla toimiville yrityksille entistä tärkeämpi kilpailukeino. Talouskasvu ja toimintaympäristön muutokset lisäävät logistiikan merkitystä edelleen. Logistiikalla on kuitenkin vaikutuksia ympäristöön. Globaalissa toimintaympäristössä yksittäinen yritys yhä harvemmin vastaa kokonaisuudessaan toimintaketjunsä hallinnasta, ja mukana on usein kymmeniä tai jopa satoja eri toimijoita. Hankinta- ja markkina-alueiden globaalistuminen on lisännyt kansainvälisten kuljetusten määrää. Kun esimerkiksi toimitustiheyttä lisätään, kuljetuserät pienenevät ja kuljetusten täyttöaste voi pienentyä. Samalla kuljetusten aiheuttamat päästöt ovat kasvaneet. Kansainvälinen kilpailutilanne pakottaa yritykset etsimään yhä kustannustehokkaampia vaihtoehtoja, mikä ei ole aina energiatohokkuuden ja ympäristövaikutusten kannalta optimaalista. Toisaalta taas tehokkaasti hoidettu logistiikka vähentää materiaalien tarvetta ja parantaa jakelujärjestelmän toimivuutta. Energiatohokkuudella voidaan vaikuttaa paitsi ympäristöön, myös syntyviin kustannuksiin.

Tavaraliikenteen osalta energiankulutus on useimmiten kohdennettavissa tuotteiden ja palvelujen osaksi, mikä liittyy tavaraliikenteen tarkastelun osaksi logistiikkaa. Tavaraliikennettä olisikin mielekkäintä tarkastella osana tuotannollista prosessia, sillä kuljetusten kysyntä riippuu ensisijaisesti tuotannollisista ja logistista ratkaisuista.

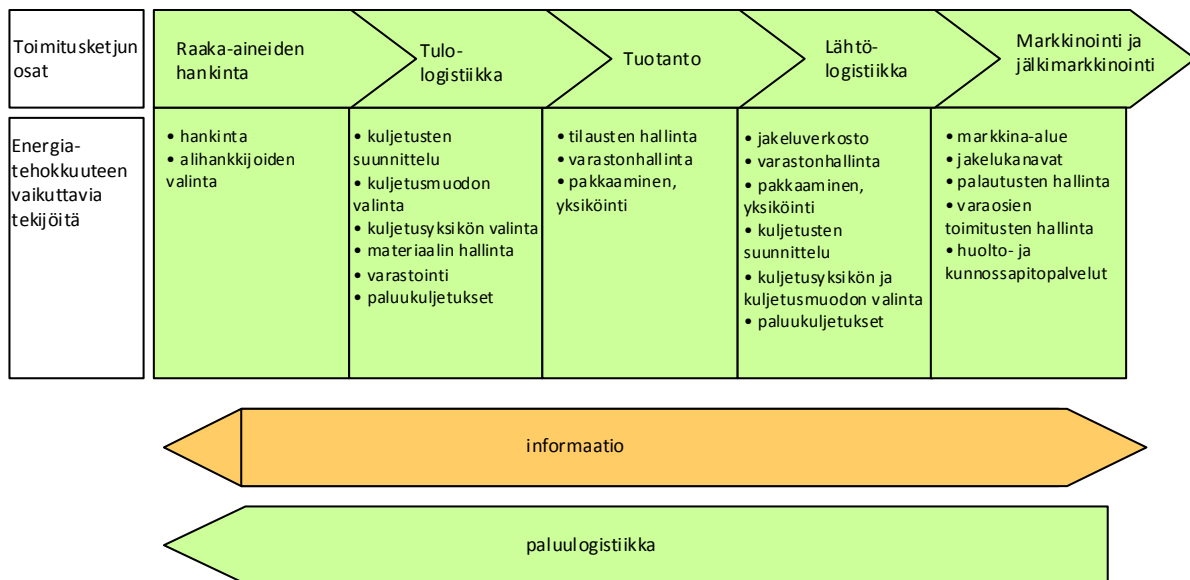
Tärkeimpiä ohjaavia tekijöitä liikenteen kysynnän ja energiankulutuksen kehityksen kannalta ovat valtakunnallisesta näkökulmasta talouskasvu, ilmastomuutoksen hillinta sekä liikennesektorilla vuonna 2006 voimaan astunut energiapalveludirektiivi ESD. Energiatohokkuuden kannalta keskeisiä tekijöitä ovat energian saatavuus ja hinnoittelu, yhteiskunnan ohjaustoimenpiteet, mutta myös kulutustottumukset. (Pöllänen et al. 2006)

Kuljetukset ja niiden operaatioiden suunnittelu ja johtaminen on monissa yrityksissä osa laajempaa logistiikan strategista suunnittelua. Tämä mahdollistaa kuljetusten tehokkaamman koordinoinnin muiden logistiikan osa-alueiden kuten varastojohtamisen, tuotannon suunnittelun, tilausprosessin ja materiaalin käsittelyn kanssa. Siksi esimerkiksi kuljetusten ympäristövaikutuksia arvioitaessa on tärkeää ottaa huomioon sekä logistiikan yleiset trendit että ne ratkaisut, joita yritykset tekevät eri logististen osa-alueiden välillä. (Hensher ja Button 2003; McKinnon 2003)

Yhtenä tekijänä myös ilmastomuutos on luonut uusia tavoitteita kuljetuspalvelujen kehittämiseksi Euroopassa. Hiilidioksidipäästöjen vähentämistavoitteet heijastuvat innovatiivisemman logistiikan kehittämiseen (NTF Conference 2007). Logistiikan energiatohokkuutta on tähän mennessä mitattu lähinnä kuljetussuoritteena. Käytössä olevia kuljetusten energiatohokkuusindikaattoreita ovat mm. yksikköpäästökertoimet ja kuljetusinten-

siivisyysluvut. Nämä energiatehokkuusindikaattorit eivät kuitenkaan yksin riitä kuvaamaan logistiikan koko energiatehokkuutta. Kokonaisvaltainen näkemys logistiikan energiatehokkuudesta ja liiketoimintapotentialista saadaan ottamalla tarkasteluun mukaan kaikki logistiikkaketjun eri toiminnot.

Logistinen prosessi kulkee yrityksen läpi monen vastuualueen kautta ja on yhtä paljon osa markkinointia kuin materiaalitoimintoja (Sakki 2003). Energiatehokkuuteen vaikuttavia logistiikan osatekijöitä ovat muun muassa raaka-aineiden hankintaan, tuotantoon, varastointiin, kuljetuksiin, paluukuljetuksiin, markkinointiin ja jälkimarkkinointiin liittyvät toiminnot (Wu ja Dunn 1995). Kuvassa 1.1 on kuvattu energiatehokkuuden selittäviä tekijöitä. Energiatehokkuuden kannalta on olennaista, että ketjun eri osat ovat keskenään vuorovaikutussuhteessa ja niissä tehdyt ratkaisut heijastuvat myös muihin toimitusketjun eri osiin. Energiatehokkuuden parantamisen kannalta on tärkeää, että toimitusketjun eri osien energiankulutuksen minimoinnin sijasta tarkastellaan koko ketjun energiatehokkuutta, sillä yksittäisen ketjun osan optimointi voi johtaa energiankulutuksen kasvuun toimitusketjun muissa osissa.



Kuva 1.1 Logistiikan energiatehokkuuteen vaikuttavia tekijöitä (Wu ja Dunn 1995).

1.2 Tutkimuksen tavoitteet

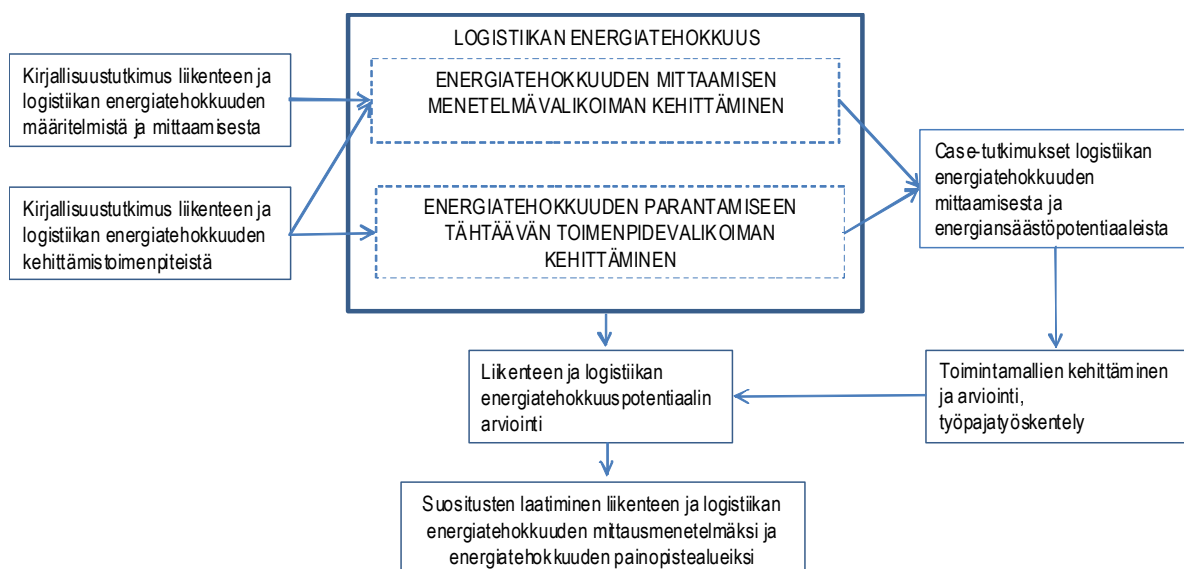
Tutkimuksen tavoitteena on ollut kehittää logistiikan energiatehokkuuden arviointiin ja mittaamisen soveltuva mittaristo, jonka avulla on mahdollista arvioida energiatehokkuuden kehitystä sekä suunnitella logistiikan energiatehokkuutta parantavia toimenpiteitä. Hankkeen tavoitteena on lisäksi ollut tuottaa perustietoja uusille koko energiaketjua palveleville liiketoimintamalleille.

Logistiikan energiatehokkuutta koskevia menetelmiä ja tuloksia voidaan hyödyntää erityisesti energiansäästösopimusten toteutumisen arvioinnissa, energiapalveludirektiivin toteutuksen suunnittelussa, liikenteen energiankulutuksen valtakunnallisen kehityksen arvioinnissa sekä kaupan ja teollisuuden logistiikan energiatehokkuuden kehittämistoimenpiteiden laadinnassa. Liikennesektorilla hyödyntäjiä ovat monet julkisen sektorin edustajat, erityisesti liikenne- ja väylähallinto. Yritykset ja yritysryhmät voivat hyödyntää tutkimustuloksia energiatehokkuuden liiketoimintastrategioissaan. Lisäksi yritykset voivat hyödyntää tutkimuksen tuomaa markkinatietoa. Logistiikan energiatehokkuutta koskevia tuloksia voidaan hyödyntää logististen prosessien kehittämisessä erityisesti teollisuuden eri toimialoilla.

1.3 Tutkimusvaiheet ja tutkimusmenetelmät

Logistiikan energiatehokkuuden tutkimushanke jakaantuu seuraaviin vaiheisiin (kuva 1.2):

1. Kirjallisuustutkimus logistiikan energiatehokkuuden mittaamisesta ja kehittämistoimenpiteistä
2. Energiatehokkuuden mittaamisen menetelmävalikoiman kehittäminen
3. Energiatehokkuuden parantamiseen tähtäävän toimenpidevalikoiman määrittäminen
4. Case-tutkimus logistiikan energiatehokkuuden mittaamenetelmien testaamiseksi
5. Suositusten laatiminen liikenteen ja logistiikan energiatehokkuuden mittaamiseksi ja energiatehokkuuden painopistealueiksi



Kuva 1.2 Tutkimuksen rakenne.

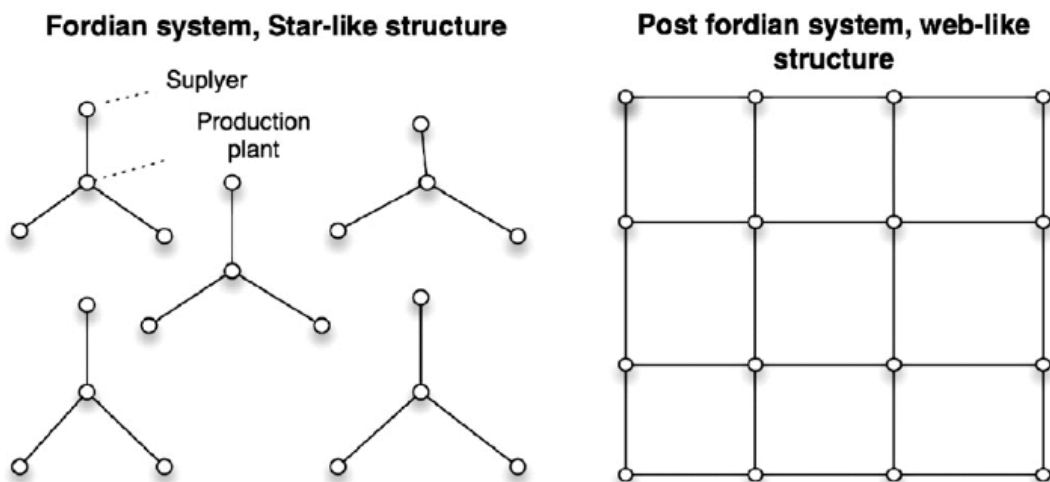
Logistiikan energiatehokkuuden mittaamismenetelmiä ja kehittämistoimenpiteitä on kartoitettu kirjallisuustutkimuksella, joka on kohdennettu erityisesti energiatehokkuuden mittaamenetelmiin ja eri toimialoilla tehtyihin logistiikan energiatehokkuuden kehittämistoimenpiteisiin. Työssä on laadittu kirjallisuustutkimukseen, case-tutkimuksiin ja asiantuntijahaastatteluihin perustuvat toimitusketjun mallit, joiden avulla on mahdollista kartoittaa logistiikan eri toimintojen energiaintensiivisyyttä. Case-tutkimusten toimitusketjumallit on laadittu toimialakohtaisina ja ne kuvaavat tyypillisiä eri metsä- ja metalliteollisuuden toimialojen logistiikan osa-alueita.

2. Logistiikan energiatehokkuuden mittaaminen

2.1 Logistiikan energiatehokkuuden kehitys

Kuljetusten energiankulutus on vähentynyt erityisesti 1990-luvulla ajoneuvotekniikan kehityksen seurauksena. Kuljetusten kokonaisenergiankulutus on kuitenkin kasvanut huomattavasti, sillä kuljetusten kysynnän kasvu on ollut nopeaa ja eniten on kasvanut tiekuljetusten kysyntä. Energian globaali kulutus kasvoi teollisuudessa vuosina 1970–1995 noin 45 % ja muilla energiaa käyttävillä sektoreilla 51–58 %, kun energiankulutus samaan aikaan kasvoi liikennesektorilla noin 90%:lla. Euroopassa energiankulutuksen kasvu on ollut suurempaa kuin keskimääräinen globaali kasvu. Euroopassa kuljetettujen tonnikipometrien määrä kasvoi 130 %, kun keskimääräinen kuljetussuorituksen kasvu oli noin 65 %. (Ruzzenenti ja Basosi 2008)

Tuotantorakenteen viimevuosikymmenten aikainen muutos post-fordilaiseen tuotantotapaan on muuttanut huomattavasti kuljetusten kysyntää. Fordilaisessa tuotantorakenteessa materiaalit ja välituotteet kulkevat toimittajilta tuotantoon tähtimäisen rakenteen mukaisesti. Post-fordilaisessa rakenteessa toimittajista tulee osa laajaa lineaarista verkostoa (kuva 2.1), jossa kokoonpano voidaan tehdä samassa tuotantoyksikössä, jossa osat tuotettiin, tai erillisessä tuotantoyksikössä. Post-fordilainen tuotantotapa sallii suurempia vapausasteita tuotannon hajauttamiselle ja johtaa siten usein monimutkaisempiin tuotantorakenteisiin ja globaaleihin toimitusketjuihin, joissa kuljetusten kysyntä ja samalla kuljetusten energiankulutus on fordilaista tuotantotapaa suurempi. (Ruzzenenti ja Basosi 2008)



Kuva 2.1 Tuotannon toimintaperiaatteen muutos graafiteorian menetelmin kuvattuna. (Ruzzenenti ja Basosi 2008)

Globalisaatio ja markkinoiden integraatio ovat nousseet keskeiseen asemaan yritysten liiketoimintaympäristössä. Markkina-alue on muuttunut globaaliksi toimialasta riippumatta ja samanaikaisesti vaatimukset kustannustehokkuudesta ja toisaalta asiakasohjautuvuudesta ovat lisääntyneet. Siten tuotanto- ja jakelurakenteiden globalisoituminen ja aikaperusteinen kilpailu ovat keskeisimmät ohjaavat tekijät nykyisessä liiketoimintaympäristössä. Samanaikaisesti asiakkaat edellyttävät yhä enemmän entistä laajempaa tuotevalikoimaa nopealla toimitusajalla. Myös materiaalitարpeiden ennustettavuus on vaikeutunut, joka asettaa omalta osaltaan vaatimuksia logistiikan läpimenoajan lyhentämiselle.

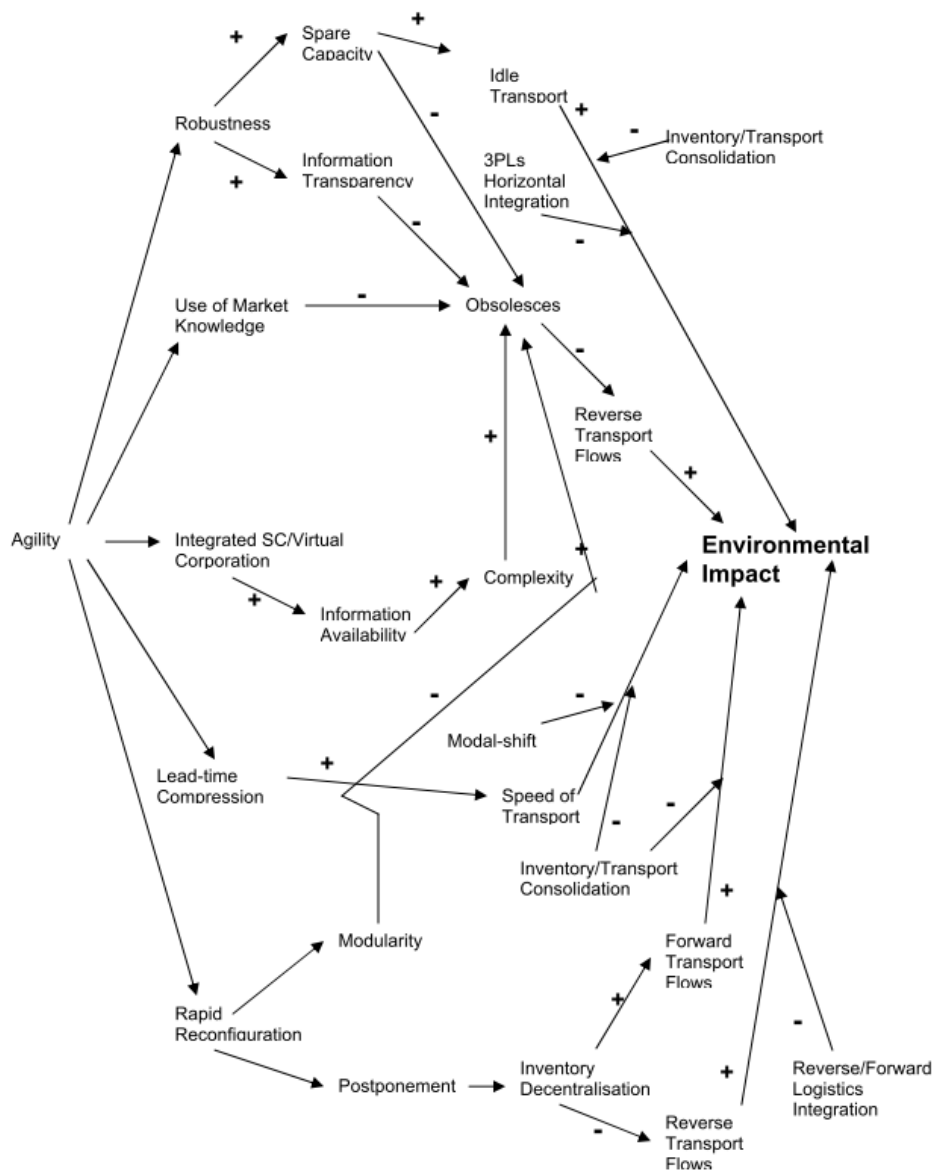
Kasvava logistiikan trendi tuotannon globalisoitumisesta lisää myös toimitusketjujen kompleksisuutta ja toisaalta vahvistaa näkemystä, jonka mukaan logistiikkastrategiat ja logistiset toiminnot ovat nykyisin keskeinen osa liiketoimintastrategiaa. Logistiikan kompleksisuus on lisääntynyt, kun yritykset ovat siirtyneet yhteen paikkaan keskitetystä tuotannosta maantieteellisesti hajautettuun resurssien verkostoon, jotka yhdessä tuottavat arvoa asiakkaalle. Yhä monimuotoisempien toimitusketjujen lisäksi myös liiketoimintaympäristön dynaamisuus on lisääntynyt ja muutos näyttää olevan ainoa pysyvä tilanne. Tämä kehitys näyttää jatkuvan tulevaisuudessa. Siten toimitusketjujen hallinta on keskeinen yritysten kilpailukyvyn perustekijä ja siten sen merkitys tulee kasvamaan edelleen. Kilpailu tulee yhä enemmän tapahtumaan toimitusverkostojen välillä yksittäisten yritysten sijaan. (Gadde ja Snehota 2000, Stock et al. 2000, Kinder 2003)

Christopher (2000, 2004) on esittänyt konseptin tai käsitteen ketterä toimitusketju (agile supply chain), joka on hyvä tarkastelutapa usealle toimialalle ja erityisesti sesonkiluontoisilla toimialoilla, joissa kysynnän ennustaminen on erityisen haasteellista. Perinteisesti sesonkiluontoisilla toimialoilla asiakaskysyntään on vastattu ennusteperusteisesti. Kun siihen vielä yhdistetään globaali hankintatoimi, jossa toimitusketjut pitenevät ja kompleksisuus kasvaa, asiakasohjautuvuuden ja toisaalta pitkien toimitusketjujen (ja -aikojen) yhdistäminen edellyttää toimitusketjujen hallinnalta uusia lähestymistapoja liiketoiminnallisen menestyksen saavuttamiseksi. Ketterä toimitusketju on markkinoita tunnusteleva ja markkinatilanteisiin nopeasti reagoiva konsepti, joka edellyttää edistyskellistä ICT-teknologioiden soveltamista kysyntätiedon läpinäkyvyyden lisäämiseksi koko toimitusketjussa. Edellä mainittu lisääntyvä toimitusketjujen kompleksisuus on yksi suurimmista esteistä ketterän toimitusketjun kehittämiseksi. (Christopher 2000, Christopher et al. 2004)

Ketterän toimitusketjun on ennakoitu toisaalta parantavan logistiikan energiatehokkuutta, mutta toisaalta osaltaan lisäävän logistisen ketjun energiankulutusta (kuva 2.2). Energiankulutuksen kasvua on osin arvioitu voitavan vähentää ketterän toimitusketjun mahdollistamalla kuljetusten ennakkosuunnittelulla, jolloin kuormitusasteet on mahdollista suunnitella korkeiksi ja kuljetusmuodon valinnassa voidaan suosia energiatehokkaita vaihtoehtoja. (Sanchez-Rodrigues 2006)

Markkinoiden ja yleensäkin liiketoimintojen globalisoituminen tarjoaa maailmanlaajuisilla markkinoilla toimiville yrityksille paljon mahdollisuuksia uusien potentiaalisten markkinoiden ja asiakkaiden kautta sekä toisaalta laajentamalla potentiaalista hankintaverkostoa. Globalisoituminen asettaa myös erilaisia vaatimuksia ja haasteita. Esimerkiksi globaalit markkinat edellyttävät korkealaatuisia tuotteita alhaisilla kustannuksilla riippumatta siitä, missä ne ovat valmistettuja. Globaaleilla markkinoilla toimiminen saattaa myös lisätä epävarmuutta ja vaikeuttaa ennustettavuutta yrityksen liiketoiminnassa, jotka voivat osaltaan lisätä tarvetta varastointiin ja myös pidentävät toimitusketjujen läpimenoaika. (Bhatnagar and Viswanathan 2000, Bhutta et al. 2003) Bowersox havaitsi yli 20 vuotta sitten, että tehokas logistiikka on tunnistettu yhdeksi kilpailuedun lähteeksi ja se on myös strateginen perusedellytys yrityksen liiketoiminnan menestykselle. (Bowersox 1990)

Edellä kuvatut globalisaatiotrendi sekä tuotanto- ja jakelurakenteiden muutokset ovat lisänneet kuljetusten määrää ja kasvu on kohdistunut erityisesti nopeisiin kuljetuksiin sekä konttikuljetuksiin. Vuoden 2008 lopulla alkanut maailmanlaajuinen finanssikriisi ja taloustaantumana ovat laskeneet tavaravirtojen volyymeja ja siten myös kuljetusten määrää kaikilla kuljetusmuodoilla. Viime vuosina on myös ympäristötietoisuus ja pyrkimys energiatehokkaisiin ratkaisuihin noussut yhdeksi fokusalueeksi yritysten liiketoiminnassa. Siten tällä hetkellä on vaikea arvioida, millaiseksi tilanne palautuu, kun noususuhdanne jälleen alkaa ja kuljetusvolyymit lähtevät kasvuun. Muuttuuko kuljetusmuotojen jakauma entistä enemmän rautatie- ja merikuljetuksia suosivaksi vai jatkuuko ennen taantumaa vallinnut kehityssuuntaus.



Kuva 2.2 Ketterän toimitusketjun ominaisuuksia ja mahdollisia vaikutuksia logistiikan ympäristövaikutuksiin (Sanchez-Rodrigues 2006)

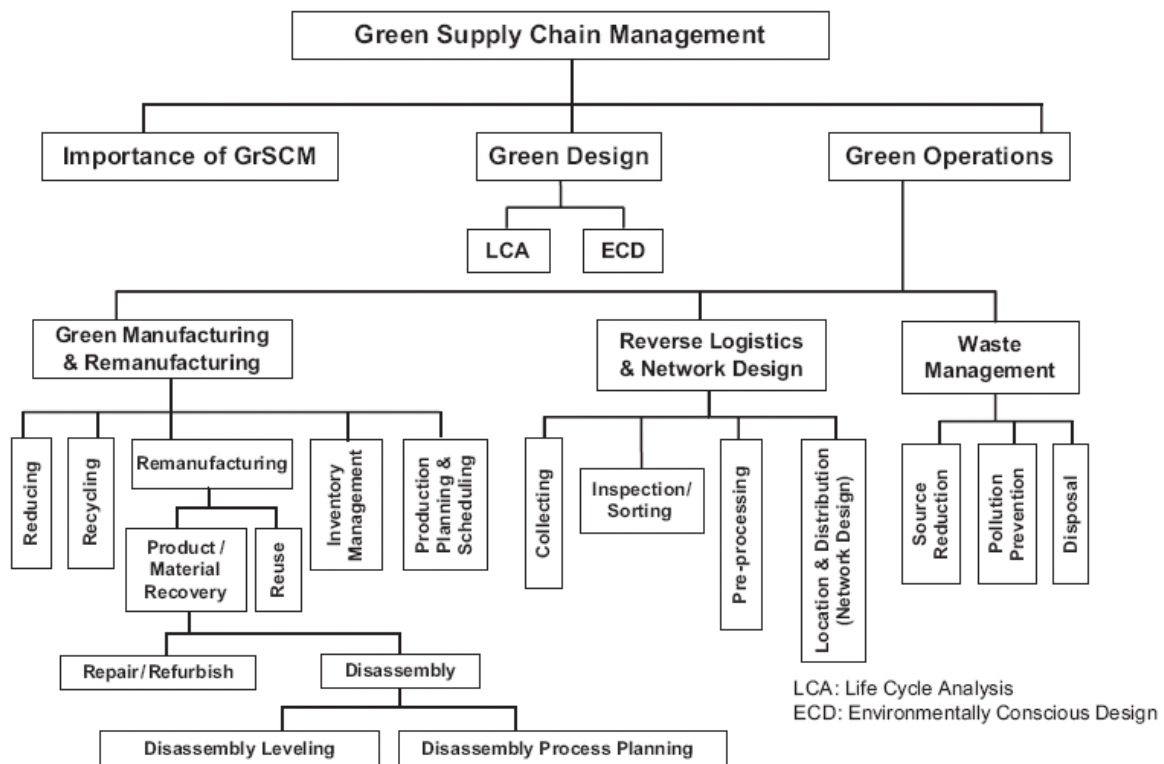
Energiatohokkuus ei ole ollut toimitusketjun hallinnassa kovin keskeinen osa-alue, mutta ilmastonmuutoksen ja energiakysymysten myötä sen merkitys on kasvanut. Energian hinnan nousu ja erityisesti siihen liittyvät tulevaisuuden skenaariot korostavat taloudellisten vaikutusten kautta energiatohokkuuden merkitystä yritysten liiketoiminnalle. Perinteisesti energiatohokkuustarkastelut ovat liittyneet toimenpiteiden vaikutusten arviointiin toimitusketjun eri vaiheissa, mutta sitä ei ole juurikaan tarkasteltu kokonaisen toimitusketjun ja sen hallinnan osa-alueena. Suuret äkilliset muutokset ja pitkäaikainen noususuhdanne energian hinnassa pakottavat teollisuusyritykset suunnittelemaan energiatohokkaita toimitusketjuja. Tämä edellyttää eri toimintojen strategisen tason päätösten vaikutusten tuntemista ja tunnistamista energiatohokkaiden toimitusketjujen suunnittelussa, jotta voidaan vastata markkinoiden kasvaviin vaatimuksiin. Tämä edellyttää yrityksiltä entistä energiatohokkaampien toimitusketjujen suunnittelua ja kehittämistä.

Perinteisesti kuljetusketjujen ympäristövaikutusten tarkastelun painopiste on ollut toimitusketjujen keskeisten toimintojen analysoinnissa (Léonardi ja Baumgartner 2004). Siten suuri osa käytetyistä mittareista on liittynyt kuljetusten etäisyyksiin ja kuljetusketjuihin.

Kuljetusten tarpeeseen ja määrään vaikuttamiseksi tarkastelun painopisteen tulee siirtää yksittäisistä toimituksista strategisten päätöksentekoprosessien tarkasteluun, koska kuljetukset ja niiden tarve perustuvat tuotesuunnittelun, tuotannon, toimitusten ja hankinnan prosesseihin. Energiatehokkuuden ja ympäristövaikutusten kannalta kuljetuksiin vaikuttavat merkittävimmät päätökset tehdään toimitusketjun suunnittelun ja tuotesuunnittelun tasoilla (Aronsson ja Huge Brodin 2006). Operatiivisella tasolla mahdollisuudet vaikuttaa toimitusketjun ympäristövaikutuksiin tai energiaterohkuuteen ovat rajallisemmat, koska päätöksenteko tällä tasolla liittyy pääasiassa kuljetusmuodon valinnan tarkasteluun ja usein yksittäiseen toimituserään. Strategisen tason päätöksenteko sisältää puolestaan näkökulmia liittyen palvelutasoon, toimitusaikoihin ja toimitustiheyteen, materiaalivirtojen yhdistämiseen, paluulogiikan hallintaan, eri teollisuudenalojen liiketoimintamalleihin sekä jakelujärjestelmien järjestelmätason rakenteisiin.

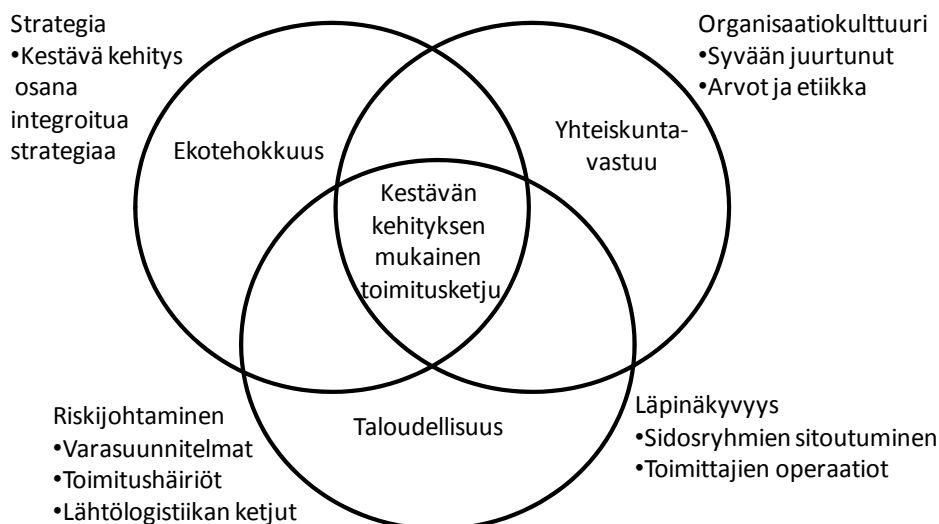
Tulevaisuuden toimintaympäristössä yhtenä keskeisenä haasteena on edistää kestävä kehityksen mukaista maailman taloutta ja silloin yrityksille on yhä tärkeämpää arvioida kestävä kehityksen mukaisten toimitusketjuratkaisujen vaikutusta yrityksen liiketoiminnan tulokseen. Yritysten omien toimitusketjujen taloudellisen vaikutuksen lisäksi yritysten tulisi ottaa huomioon myös sosiaaliset, eettiset ja ympäristöarvot ja -vaikutukset. Lisäksi tämä arviointi tulisi suorittaa kaikkien toimitusverkoston osapuolten kanssa, ei vain oman yrityksen osalta. (Markley ja Davis 2007) Yritysten sosiaalinen vastuullisuus on yksi mielenkiintoinen lähestymistapa toimitusketjujen energiaterohkuusnäkökulmaan. Se on yleisesti nähty konseptina, jossa yritykset päättävät vapaaehtoisesti edistää omilla toimillaan parempaa yhteiskuntaa ja puhtaampaa ympäristöä. Kovácsin (2008) tutkimuksen mukaan yritysten sosiaalisesta vastuusta yrityksiltä vaaditaan oman yrityksen ympäristövaatimusten täyttämisen lisäksi seurantaa ja vastuuta myös niiden toimittajien ja yhteistyökumppaneiden ympäristötoiminnoista. Siten yritysten ympäristövastuullisuus vaikuttaa toimitusketjun ylävirtaan. Ympäristökysymyksiin liittyvät vaatimukset toimitusverkoston kumppaneille vaihtelevat paljon. Joissakin yhteistyösuhteissa ei ole asetettu minkäänlaisia vaatimuksia ympäristöasioiden suhteen ja joissakin kumppanuuksissa on erittäin suuri painopiste ympäristönäkökulmien toteutukseen ja siihen liittyy tyypillisesti myös syvälinen yhteistyö ja yhteinen tavoitteiden asettaminen. Luonnollisesti tämä on riippuvainen yhteistyön ja kumppanuuden syvällisyydestä ja muista ominaisuuksista.

Srivastava (2007) on jäsentänyt green supply chain management -käsitettä kuvan 2.3 mukaisesti, jossa green supply chain management koostuu ympäristön merkityksen tiedostamisesta, ympäristönäkökulmien suunnittelusta ja ympäristön huomioon ottavista toiminnoista. Suunnittelu kytkeytyy elinkaariajatteluun (LCA, Life Cycle Analysis). Green supply chain management (GSCM) on melko vakiintunut käsite toimitusketjun hallinnassa kuvaamaan ympäristönäkökulmien huomioon ottamista toimitusketjujen suunnittelussa ja hallinnassa. Periaatteessa siinä on kyse tavanomaisesta toimitusketjun hallinnasta, mutta ympäristövaikutusten ja energiaterohkuuden huomioon ottaminen toimintojen suunnittelussa ja operoinnissa korostuu. Samalla tavalla käytetään toisinaan käsitettä Demand supply chain management (DSCM) kuvaamaan toimitusketjun asiakasohjautuvuuden korostumista, vaikka käytännössä kaikki toimitusketjut ovat nykyisin asiakasohjautuvia ja asiakaslähtöisiä. GSCM:stä näyttää olevan muodostumassa vastaavantyyppinen käsite, joka kuvaa tavanomaista toimitusketjun hallintaa, mutta korostaa tärkeäksi koetun ympäristönäkökulman huomioon ottamista toimitusketjun hallinnassa.



Kuva 2.3 Ympäristönäkökulmaan painottuvan toimitusketjun määritelmiä. (Srivastava 2007)

Sustainable Supply Chain Management (SSCM) yhdistää yrityksen taloudelliset tavoitteet ympäristö- ja yhteiskuntavastuun arvoihin. Kokonaisvaltainen kestävä kehityksen mukainen toimitusketjun hallinta muodostuu ympäristötehokkuuden, yhteiskuntavastuun ja taloudellisen tehokkuuden yhdistelmänä. Strategiaa, riskijohtamista, läpinäkyvyyttä ja organisaatiokulttuuria tarvitaan tukemaan tavoitteiden saavuttamista (kuva 2.4).



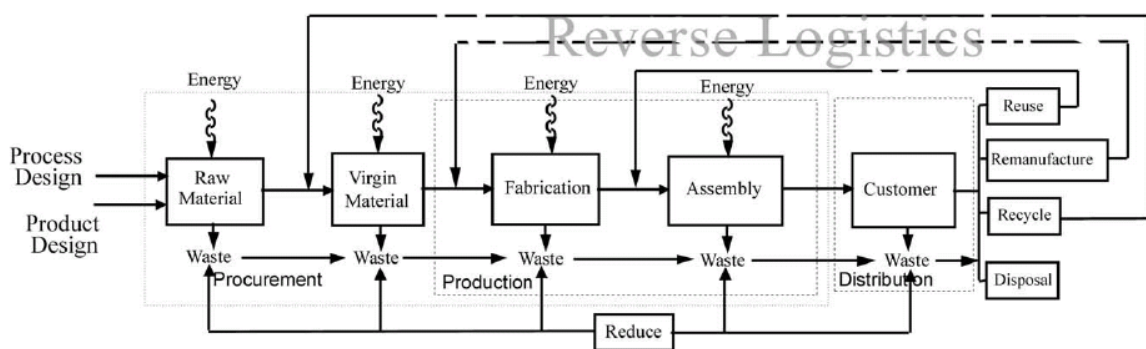
Kuva 2.4 Kestävän toimitusketjun hallinnan elementit (Carter ja Rogers 2008)

2.2 Logistiikan energiatehokkuuden mittaamisen taserajat

Energiatehokkuuden kokonaisvaltainen mittaaminen edellyttää, että käytössä on yhteinen eri toimialoille soveltuva mittaristo. Energiankulutuksen laskenta ja energiatehokkuuden mittaaminen ei ole täysin yksiselitteistä, vaikka primäärienergiankulutus olisikin usein määritettävissä. Energiatehokkuuden arviointi edellyttää laskennan taserajojen määrittämistä, jotta laskentaan sisältyisivät kaikki prosessin kannalta olennaiset vaiheet. Yleisesti erilaisten prosessien energiatehokkuuden laskennassa voidaan määrittää useita taserajoja riippuen siitä, miten energiatehokkuustarkastelu on rajattu (Tuomaala 2007). Taserajojen määrittely on erityisen tärkeää silloin, kun tarkastellaan samanaikaisesti useita energiaa kuluttavia sektoreita, sillä sektorit ja niiden erilaiset toiminnot ovat useimmiten osittain päällekkäisiä. Taserajojen myötä on mahdollista välttyä siltä, että jokin prosessi tulee laskentaan useita kertoja, tai että jokin prosessi jää kokonaan laskennan ulkopuolelle.

Energiatehokkuutta on yleensä totuttu mittaamaan tuotantoprosessikohtaisesti, jossa rajaudutaan yleensä yhteen teollisuuslaitokseen. Logistiikan energiatehokkuuden mittaamisessa huomioon otetaan koko toimitusketju, jolloin mukaan tulevat myös muut logistiikan osatekijät. Kuvassa 2.5 on esitetty kaavio organisatorisen toimitusketjun ja ympäristövaikutusten vuorovaikutuksesta. Kuvan mukainen toimitusketjun malli kuvaa yhden organisaation toimintaa ja liittämällä yhteen useiden organisaatioiden toimitusketjut voidaan kuvata organisaatioiden välisiä vuorovaikutuksia. Kuvan paluulogistiikkaa kuvaavat nuolet tuovat toimitusketjuun yleensä monia toimijoita. (Sarkis 2003)

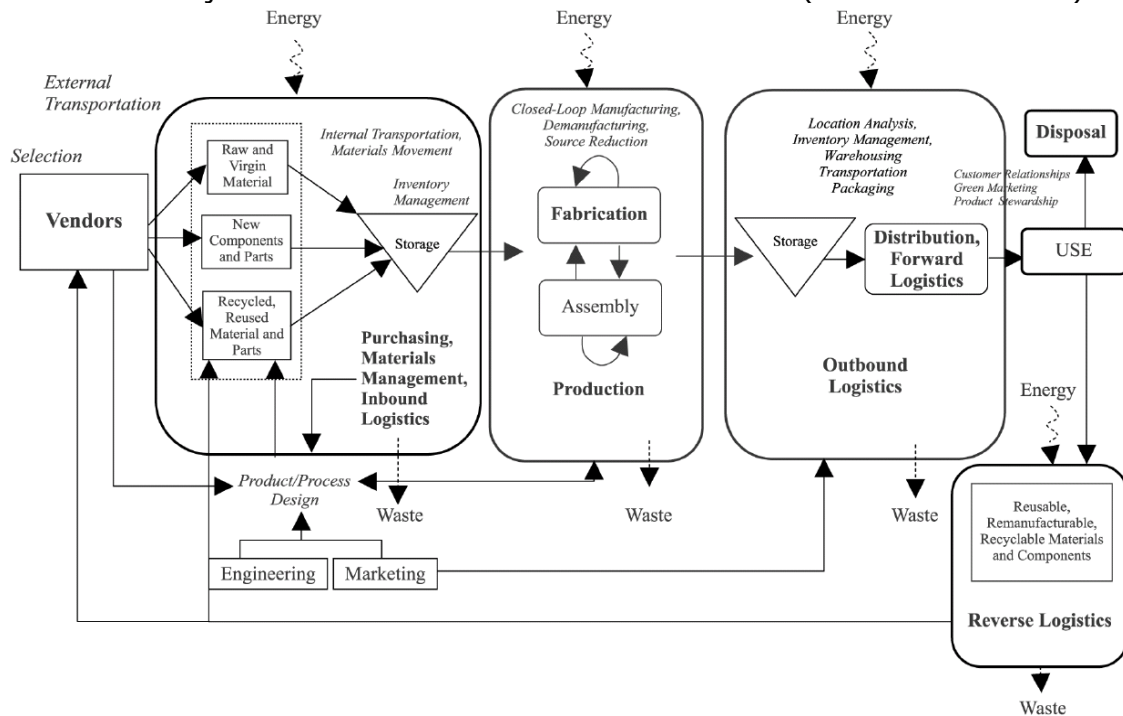
Sarkis (2003) on tutkinut tuotteen elinkaaren ja ympäristömyönteisten toimenpiteiden vaikutusta yksittäisen organisaation näkökulmasta. Yhden organisaation toimitusketjun näkökulmasta toimitusketju sisältää hankinnan, tuotannon ja jakeluvaiheet. Hankinta sisältää raaka-aineiden tuotannon ja jalostuksen, tuotanto sisältää koko tuotteen tuotantoprosessin kokoonpanovaiheineen ja jakelu tuotteiden jakelun asiakkaille. Toimitusketjun mittaamisessa sovelletaan tyypillisesti monenlaisia suoritusmittareita, kuten kustannuksia, laatuindikaattoreita, joustavuutta, mutta myös ympäristövaikutuksia mittaavia indikaattoreita, kuten energiankulutusta ja hiilidioksidipäästöjä. (Sarkis 2003, Hervani et al. 2005)



Kuva 2.5 Toimitusketjun organisatorinen malli ympäristövaikutusten näkökulmasta. (Sarkis 2003)

Kuvassa 2.6 on esitetty yksittäisen organisaation ympäristövaikutusten ja toimitusketjun vuorovaikutus, jossa paluulogistiikka sulkee tyypillisen lähtölogistiikan toimitusketjun tuomalla tarkasteluun tuotteiden uudelleenkäytön ja kierrätysmateriaalien käytön. Toimitusketjun ympäristöjohtamisen tavoitteena on yleensä minimoida syntyvän jätteen määrää ja vähentää energiankulutusta ja päästöjä. Ympäristövaikutusten määrään ja laatuun

voidaan vaikuttaa tuotesuunnittelussa, tuotannon suunnittelussa, ympäristöjärjestelmien käyttöönotolla, pakkausten suunnittelussa, kuljetusten suunnittelussa sekä tuotteiden paluulogiistiikan suunnittelussa. Useiden organisaatioiden verkostomaisessa toimintatavassa toimitusketjuista muodostuu monimutkainen verkosto. (Hervani et al. 2005)



Kuva 2.6 Toimitusketjun kuvaus ympäristövaikutusten näkökulmasta. (Hervani et al. 2005)

Logistisen verkoston toiminnot ovat tuotanto, kuljetus, tuotteiden käyttö ja tuotteiden loppusijoittaminen. Näihin toimintoihin liittyvät strategiset (esimerkiksi tuotantolaitosten sijainti), taktiset (esimerkiksi tuotteiden käytöstä poiston jälkeiset kierrätyskanavat) ja operatiiviset (esimerkiksi toimittajien valinta) päätökset määrittävät sekä verkoston kustannukset että siinä syntyvät ympäristövaikutukset. Liiketoimintaan ja ympäristöön vaikuttavia toimijoita ovat toimittajat, valmistajat, kuluttajat, logistiikkaoperaattorit sekä kaikki kolmannet osapuolet niin testaamisessa, palautuksissa, kierrätyksessä kuin elinkaaren loppupäässä olevien tuotteiden energian tuotannossa. (Quariguasi Freto Neto et al. 2008)

Kuvassa 2.7 on esitetty logistiikan energiatehokkuuden mittaamisen taserajat. Energia-
tehokkuutta voidaan mitata neljällä erilaisella taserajalla:

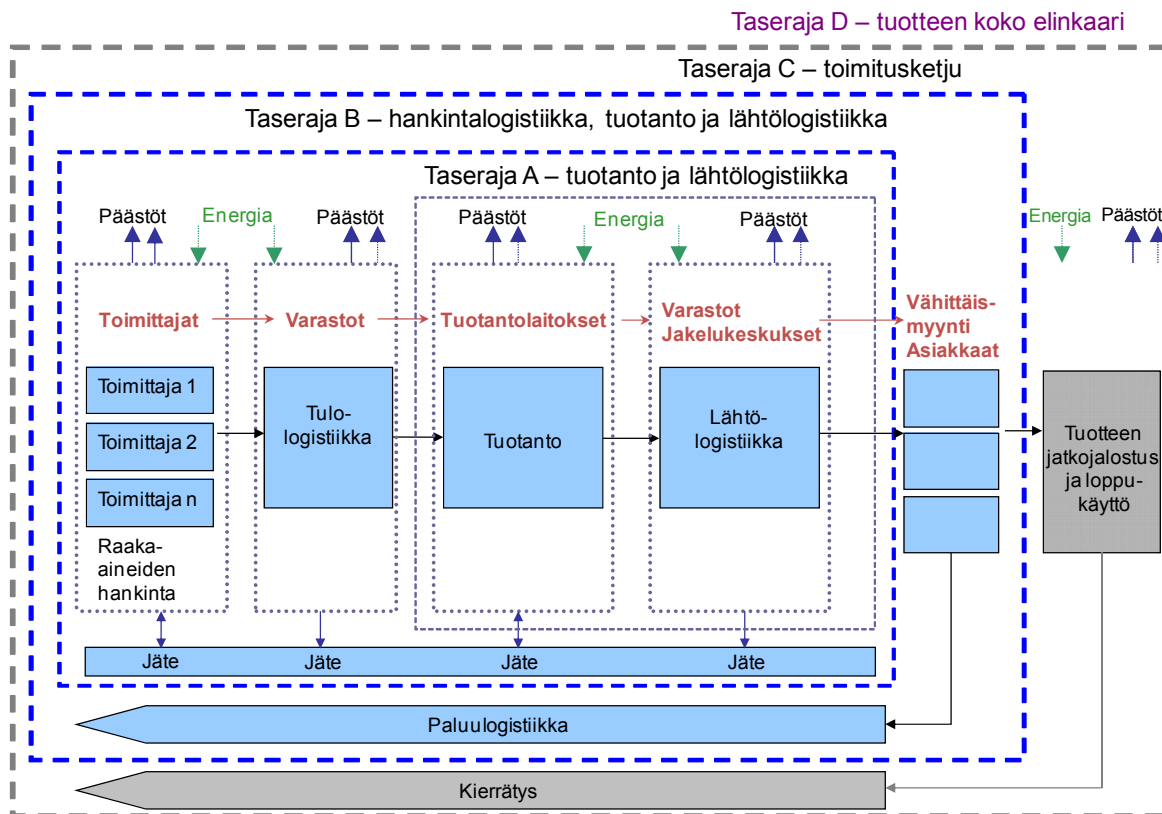
- A Tuotannon ja lähtölogistiikan taseraja
- B Hankinnan, tuotannon ja lähtölogistiikan taseraja
- C Toimitusketjun taseraja
- D Tuotteen koko elinkaaren määrittämä taseraja

Teollisuusyritykset tarkastelevat energiatehokkuutta tyypillisimmin taserajalla A, joka koostuu tuotannosta ja lähtölogistiikasta. Taseraja A voidaan määritellä myös yrityksen sisäisenä toimitusketjuna (Rao ja Holt 2005). Koska prosessiteollisuus on pääosin hyvin energiasäästävistä, lähtölogistiikalla ei energiatehokkuuden mittaamisessa ole ollut kovin suurta painoarvoa. Monet vakiintuneet käytännöt, kuten päästökauppa ja standardit, rajaavat energiatehokkuustarkastelut ja hiilijalanjäljen laskennan tuotantoprosessiin. Tällöin lähtölogistiikkaan kohdistettuja energiatehokkuustoimia ei ole käytännössä edes mahdollista ottaa huomioon esimerkiksi osana päästökauppaa. Lähtölogistiikka on tuotannollisissa yrityksissä useimmiten osittain tai kokonaan ulkoistettu, mikä osaltaan vä-

hentää yritysten kiinnostusta ja vaikutusmahdollisuutta logistiikan energiatehokkuuden kehittämiseen. Toisaalta suurten kuljetusvolyymien perusteellisuudessa kuljetusten ohjaus on teollisuuden omissa käsissä ja siten myös kiinnostuksen kohteena. Monissa tutkimuksissa (esimerkiksi Pohjola 1999) on havaittu, että yrityksillä on hyvä käsitys energiankulutuksesta taserajalla A, joka on tuotannollisille yrityksille usein luontevin raja-alue energiatehokkuuden mittaamiselle.

Taseraja B laajentaa energiatehokkuuden määritelmää kattamaan myös hankintaprosessin raaka-aineesta mahdollisiin välituotteisiin ja kattaa myös hankintalogistiikan. Tuotannollisilla yrityksillä on vain harvoin mahdollista liittää myös hankintaprosessi energiatehokkuustarkasteluihin. Kuljetustoiminnot ovat usein hankintalogistiikan osalta lähtölogistiikan tavoin ulkoistettuja, mutta kuten lähtölogistiikassakin esimerkiksi perusteellisuuden yritykset osallistuvat kuljetusten suunnitteluun ja ohjaukseen. Vaikka hankintavirroissa tuotteiden toimittajat vastaisivatkin kuljetusten järjestämisestä asiakkaalle, toimittusten reunaehdot tulevat silti pääsääntöisesti teollisuusyrityksiltä. Toimittajien valinta ja hankintatoimi yleensäkin on koettu yrityksissä tärkeäksi osa-alueeksi ja niihin liittyy usein myös tunnistettuja kehittämisalueita. Monet yritykset hyödyntävät tuotantoprosesseissaan jalostettuja raaka-aineita ja välituotteita, joilla on oma itsenäinen toimitusketjunsä. Taserajalla C energiatehokkuustarkastelu kattaa koko toimitusketjun ja sisältää myös markkinoinnin, toimitukset loppuasiakkaille ja paluulogiikan. Energiatehokkuustarkastelun laajuuden kasvaessa laskennasta tulee yhä monimutkaisempi prosessi, johon sisältyvät kaikki toimitusketjun eri vaiheet raaka-aineesta asiakkaille tehtäviin toimituksiin asti.

Taseraja D sisältää koko toimitusketjun lisäksi tuotteen mahdollisen jatkojalostuksen ja koko elinkaaren aikaisen käytön sekä tuotteen käytöstä poiston ja kierrätyksen. Taseraja D edustaa tuotteen koko elinkaarta, jolloin tarkastelu edellyttää suhteellisen paljon lähtötietoja myös asiakkailta ja tuotteen käytöstä poistosta.



Kuva 2.7 Logistiikan mittaamisen taserajat.

2.3 Energiatehokkuuden mittaaminen logistiikassa

Viime vuosina organisaatioiden ja toimitusketjun hallinnan suorituskyvyn mittaamiseen tutkimusalueena on kiinnitetty yhä enemmän huomiota. Erilaisia suorituskykymittareita on myös rakennettu useissa eri yrityksissä. Toimitusketjun hallinnalla on ollut yhä merkittävämpi rooli yritysten strategioissa organisaatioiden tuottavuuden tehostamiseksi ja parantamiseksi. Koko toimitusketjun suorituskyvyn mittaaminen on haastavaa ja aiheesta on tehty tutkimuksia. Empiiristä analyysiä ja case-tutkimuksia toimitusketjun suorituskyvyn mittaamisesta ja mittareista on kuitenkin tehty verrattain vähän. Tyypilliset toimitusketjun mittaamisen järjestelmät ovat keskittyneet kustannusten ja asiakastyytyväisyyden mittaamiseen erilaisin variaatioin. Energiatehokkuuden merkitys toimitusketjuissa on kuitenkin kasvamassa. Tulevaisuudessa tullaan kiinnittämään entistä enemmän huomiota myös toimitusketjun ympäristövaikutuksiin, joten mittausjärjestelmän kehittäminen energiatehokkuuden ja ympäristövaikutusten ympärille on tarpeellista. Ympäristövaikutusten mittaamisen on arvioitu olevan yksi tärkeimmistä haasteista ympäristömyönteisen toimitusketjun hallinnan kehittämisessä (Seuring ja Müller 2007).

Toimitusketjun hallinnalla pyritään täyttämään strategiset tavoitteet laadusta, nopeudesta, luotettavuudesta, toimitusvarmuudesta, joustavuudesta ja kustannuksista. Operatiivisella tasolla varmistetaan, että nämä tavoitteet saadaan täytettyä. Ohjaukseen ja parempaan toimitusketjun hallintaan tarvitaan mittaristoa ja tarkoin valittuja sopivia mittareita, joilla voidaan seurata tavoitteiden saavuttamista. Eri toimintojen ja prosessien tulokset toimitusketjussa tulee määrittää ja niitä verrataan ennalta määritettyihin standardeihin. Jotta toimintaa voidaan hallita ja johtaa valitaan tietyt parametrit eri prosesseista, joita lähinnä seurataan. (Gunasekaran et al. 2004)

Toimitusketjun suorituskyvyn mittaamisella ja erilaisilla mittareilla on tärkeä rooli niin tavoitteiden asettamisessa, suorituskyvyn arvioimisessa kuin tulevien suuntaviivojen ja strategioiden määrittämisessä. Onnistunut mittareiden käyttö edellyttää kuitenkin hyvää tuntemusta mitattavasta ympäristöstä ja ympäristössä vallitsevasta käyttäytymisestä. Tämän lisäksi on löydettävä oikeat mitattavat asiat, niitä kuvaavat mittarit ja tulkittava niitä oikein tehokkuuden saavuttamiseksi. Mittaamisen kannalta on tärkeää, että kaikki toimitusketjun osapuolet ovat sitoutuneita yhteisiin tavoitteisiin, kuten kilpailukykyyn parantamiseen ja asiakastyytyväisyyteen läpi koko toimitusketjun. Toimitusketjun toimijoiden jatkuvan parantamisen toimintamalli on myös tärkeä ympäristönäkökulman kannalta. Lisäksi ylimmän johdon on tuettava ympäristövaikutusten mittausta taloudellisesti ja strategisesti ja otettava huomioon tukemistavan muuttuminen toteuttamisen eri vaiheissa.

Toimitusketjun hallinnan mittareita voidaan jakaa strategisen tason, taktisen tason ja operatiivisen tason mittareihin. Monet mittarit vaikuttavat kaikilla näillä tasoilla ja koko toimitusketjun tarkastelu määrittää laajan joukon mittareita eri toiminnoista. Strategisen tason mittarit vaikuttavat ylimmän johdon päätöksiin, heijastuvat yhtiön rahoitussuunnitelmiin, kilpailukykyyn ja tavoitteisiin. Taktisen tason mittarit toimivat strategisen tason tavoitteiden varmistajina ja antavat palautetta keskitason johdon päätöksiin, mm. resursointiin. Operatiivisen tason mittareilla pyritään varmistamaan taktisen tason tavoitteita ja vaikutetaan päivittäiseen päätöksentekoon ja tavoitteisiin. (Gunasekaran et al. 2004).

Ympäristötavoitteiden huomioon ottaminen toimitusketjun hallinnassa tarkoittaa ennen kaikkea toimitusketjujen ympäristövaikutuksien tarkastelua. Vihreät arvot, ympäristöystävällisyys ja toimitusketjun energiatehokkuuden parantaminen ovat tulevaisuudessa yhä merkittävämpi kilpailuetu yrityksille. Energiatehokkuus mahdollistaa myös pitkäaikaisen kestävä kehityksen toimitusketjun hallinnassa. Vihreän toimitusketjun hallinnan tavoitteena onkin minimoida energiankulutusta sekä vähentää syntyviä jätteitä ja päästöjä.

Suorituskyvyn mittaaminen vihreän toimitusketjun hallinnassa, GSCM/PM (green supply chain management, performance management), on tarpeellista muun muassa kilpailullisista sekä säännöksiin ja markkinointiin liittyvistä syistä. GSCM/PM:n käyttökohteita ovat ulkoinen raportointi, sisäinen kontrollointi ja analysointi. Mittaustulosten avulla yritykset voivat viestiä sidosryhmilleen tietoa toimintansa aiheuttamista ympäristövaikutuksista, etsiä parannusmahdollisuuksia esimerkiksi kierrätysmekanismeihin sekä tarkkailla ympäristösäännösten noudattamista. (Hervani et al. 2005)

Toimitusketjun ja logistiikan energiatehokkuutta voidaan mitata usealla eri tavalla. Energiatehokkuutta voidaan mitata koko toimitusketjussa mittaamalla kukin toimitusketjun osa erikseen ja yhdistämällä tulokset yhdeksi tai useammaksi indikaattoriksi. Kokonaisvaltainen energiatehokkuuden mittaaminen on kuitenkin haastavaa, sillä toimitusketjut voivat olla monimutkaisia ja laajoja ketjuja tai verkostoja sisältäen useita eri partnereita ja toimintoja. Erilaisia ympäristövaikutuksiin ja energiatehokkuuteen liittyviä mittareita on käytössä useita, mutta varsinaista kokonaisvaltaista mittaristoa energiatehokkuuden mittaamiseen läpi toimitusketjun ei ole olemassa. Mittaamista ja mittareita voi olla myös hankala kohdistaa yhteen tiettyyn toimitusketjun osaan. Kokonaisvaltaisessa energiatehokkuuden laskennassa jokainen toimitusketjun osa tulee ottaa huomioon ja mittareiden tulisi kohdistua jokaiseen vaiheeseen. Toimitusketjujen osien integrointi helpottaa ja edesauttaa energiatehokkuuden mittaamista ja seuraamista.

Koko toimitusketjun energiatehokkuuden mittaamisessa yhdistetään hankintojen, tuotannon, varastoinnin, pakkausten, jakelun ja jätehuollon energiankulutus sähkön, lämmön ja veden kulutuksena sekä kuljetusten energiankulutuksena mitattuna. (Pohjola 1999) Kokonaisenergiankulutus voidaan määrittää myös asiakkaalle toimitettua tavara-tonnia kohti (MJ/tuotetonni).

Kuljetusten rooli logistiikan ja toimitusketjujen energiatehokkuuden laskennassa ja tutkimuksissa on merkittävä. Kuljetusten energiatehokkuutta mitataan tyypillisesti kuljetus-suoritteella (tonnikilometrien määrä), ajoneuvoikohtaisella energiankulutuksella (litraa/100 km, MJ/ajoneuvokm) tai suoritekohtaisella ominaisenergiankulutuksella (MJ/tonnikm). Kuljetukset ja niiden energiatehokkuus ovatkin tärkeä osa logistiikkaa, mutta tarkasteltaessa koko toimitusketjun energiatehokkuutta ja sen parantamista, myös muut toimitusketjun osat ja toiminnot tulee ottaa huomioon.

Logistiikan energiatehokkuutta on ehdotettu mitattavaksi myös päästöjen (esim. hiilidioksidipäästöt) ja ominaisenergiankulutuksen (Specific energy consumption, SEC) avulla. Toimitusketjujen hallinnassa päästökertoimet ja energiatehokkuus voidaan suhteuttaa esimerkiksi materiaalitonnien määrään. (Aronsson ja Huge Brodin 2006) Asiakastoiveiden täyttäminen ja tarpeisiin vastaaminen on logistiikan keskeisimpiä funktioita, jolloin toimitusajat, niiden pitävyys ja toimitusten varmuutta kuvaavat mittarit nousevat mitattavina asioina esille. Toimitusaikoja ja toimitusnopeutta voidaan myös käyttää energiatehokkuuden määrittämisessä. Kuljetusten joustavuus, saatavuus, täsmällisyys ja toimitusten laatu vaikuttavat myös energiatehokkuuteen. Kuormausaste voi myös kuvata energiatehokkuutta; mitä korkeampi kuormausaste, sitä parempi energiatehokkuus.

Logistiikan energiatehokkuuden mittariksi voi soveltua myös kuljetusintensiteetti, jolla tarkoitetaan toimialan tuotannon synnyttämien kotimaan kuljetussuoritteiden suhdetta toimialan tuotannon arvonlisäykseen. Kuljetusintensiteetin yksikkö on tonnikilometri/euro. Kuljetusintensiteetti voidaan määrittää erikseen kuljetusmuodoittain, jolloin se on yhdistettävissä kuljetusmuotoikohtaiseen energiankulutukseen. (Iikkanen 2004) Kuljetusintensiteetti voidaan ajatella myös kuljetusjalanjälkenä. Kuljetusjalanjälki kuvaa yhteen tuotetonniin sisältyvää tonnikilometrien määrää. Hiilidioksidijalanjälki on myös hyvä mittari energiatehokkuuden ja ympäristövaikutusten mittaamiseen. Hiilidioksidijalanjälki kuvaa toimitusketjun aikana syntyneiden suorien ja epäsuorien hiilidioksidipäästöjen määrää.

Zhu et al. (2007) arvioivat tutkimuksessaan, että yritysten sisäinen ympäristöjohtaminen, ympäristömyötäinen hankintatoimi, ympäristötavoitteiden asettaminen yhteistyökumppaneille ja alihankkijoille, ympäristömyötäinen tuotesuunnittelu ovat tärkeimpiä ympäristömyönteisen toimitusketjun hallinnan osa-alueita. Näiden osa-alueiden merkitystä mitattiin kvalitatiivisesti asiantuntijahaastattelulla, jossa osa-alueiden tärkeyttä mitattiin Likert-asteikolla. Ympäristövaikutuksia mitattiin esimerkiksi ilmakehään aiheutuvina päästöinä, jätevesien ja jätekertymän määrällä, haitallisten raaka-aineiden kysynnän määrällä.

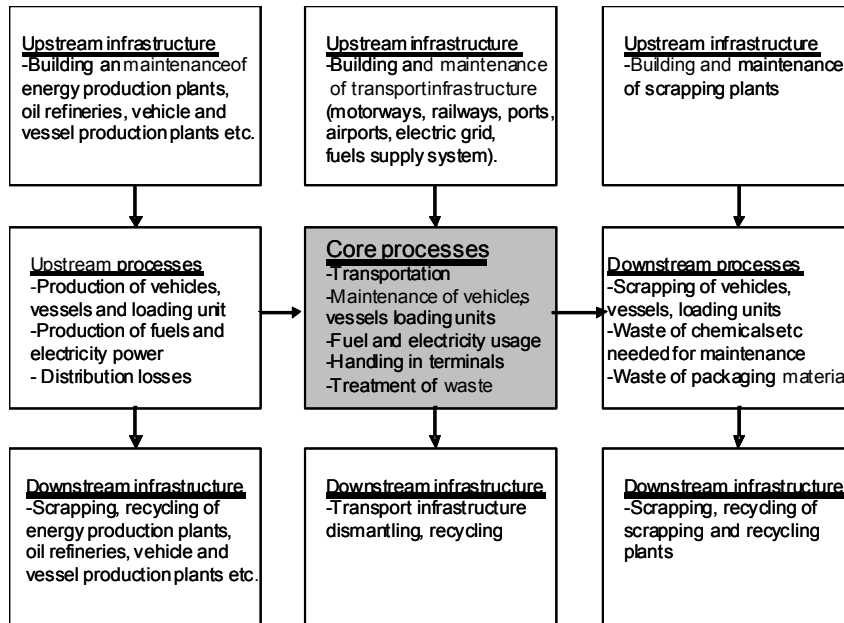
Yleisesti ympäristöön liittyvät mittarit ovat tärkeitä johtamisen työkaluja arvioitaessa ympäristövastuuta, ympäristövaikutuksia, suorituskykyä, ja kustannuksia. Ympäristöön liittyviä suorituskykymittareita on kuvattu ISO 14301 -standardissa (environmental performance evaluation). Standardissa mainittuja energiaan liittyviä mittareita ovat mm. energiankulutus vuosittain tai tuotteittain, energiankulutus palvelua, asiakasta tai tuotettua tonnia kohden, tuotettujen palvelujen kumulatiivinen energiankulutus, energiankulutus primäärienergiaksi muutettuna, sivutuotteilla tuotettu energia tai prosesseilla ja energian säästöohjelmilla säästetty energia. (Hervani et al. 2005; Jasch 2000) Myös Toxic Release Inventory ja Global Reporting Initiative ovat koonneet ympäristöön liittyvän suorituskyvyn arviointiin käytettäviä erilaisia mittareita koskien muun muassa päästöjä, materiaalien käyttöä, sekä panoksia ympäristöystävällisempien tuotteiden valmistamiseksi. Mittarien valinta tapahtuu strategisesti perustuen organisaation missioon ja visioon. Olemassa olevia mittareita voidaan käyttää koko toimitusketjun ympäristövaikutusten arviointiin. Nykyisiä käytettävissä olevia menetelmiä ympäristövaikutusten arviointiin ovat elinkaarianalyysi, product stewardship ja design for environment. Myös Total quality management (TQM) kokonaisvaltaisen laatujohtamisen mallina sisältää menetelmiä, joita voidaan käyttää vihreässä toimitusketjun hallinnassa muun muassa päästöjen estämishajonnan toteuttamiseksi. (Hervani et al. 2005)

Kansainvälinen EPD-järjestelmä (Environmental Product Declaration) sisältää määritelmän tuotteen ympäristövaikutusten laskemiseksi. Vielä toistaiseksi ympäristötuoteselostuksena sovellettu EPD ei ole sisältänyt kuljetusketjujen ympäristövaikutuksia, mutta myös kuljetukset on tavoitteena sisällyttää laskentaan. Kuljetuspalvelujen sisällyttämiseksi tuoteselostukseen on laadittu alustava suositus, jossa on esitetty mm. rajauksia päästöjen ja energiankulutuksen laskentaan (EPD 2009). Kuvassa 2.8 on esitetty laskennassa sovellettavaksi suositeltu taserajaus. Tulosuunnan (upstream) infrastruktuuri on suositeltu rajattavaksi laskennan ulkopuolelle, jolloin esimerkiksi liikenneinfrastruktuurin rakentamista ja ylläpitoa ei sisällytetä laskentaan. Ydinprosessit sisällytetään aina laskentaan. Laskennan rajauksista riippuen ainakin osa hankintasuunnan prosesseista tulisi sisällyttää laskentaan. Myös lähtösuunnan prosessit suositellaan ainakin tärkeimmiltä osiltaan sisällytettäväksi laskentaan.

Kuljetuspalvelujen laskentaan sisällytettäviin ydinprosesseihin kuuluvat kuljettaminen, kuljetusvälineiden ja kuormausyksiköiden huolto ja kunnossapito sekä terminaalitoiminnot ja materiaalien siirto kuljetusketjun aikana. Hankintaprosesseihin kuuluvat EPD-taserajauksen mukaisesti liikennevälineiden ja pakkausyksiköiden tuotanto sekä tuotannon eri vaiheissa kulunut polttoaine ja sähköenergia siirtohäviöineen. Lähtölogistiikan prosesseihin kuuluvat ajoneuvojen ja pakkausyksiköiden käytöstä poisto, ajoneuvojen huollossa syntyneiden jätteiden käsittely ja pakkausjätteiden käsittely. (EPD 2009)

EPD-laskennassa sovelletaan yleisesti "1 %:n sääntöä", jonka perusteella ne prosessien osat ja elinkaaren vaiheet, jotka vaikuttavat vähemmän kuin yhden prosentin verran tuotteen kokonaisympäristökuormitukseen, voidaan rajata pois laskennasta. Pois rajattujen prosessi- ja elinkaarivaiheiden yhteenlaskettu osuus ei kuitenkaan saa ylittää 10 %:a tuotteen koko ympäristökuormituksesta. EPD-järjestelmän laskentasuosituksissa on otettu kantaa myös kierrätyskuljetuksiin ja paluulogistiikkaan. Mikäli tuotantoon tai raaka-

aineiden tuotantoon sisältyy kierrätysmateriaaleja, myös kierrätysprosessi siihen liittyvine kuljetuksineen tulee ottaa huomioon laskennassa. (EPD 2009)



Kuva 2.8 Ydinprosessien sekä tulosuunnan (upstream) ja lähtösuunnan (downstream) infrastruktuurien ja prosessien kuvaus EPD-järjestelmässä. (EPD 2009)

Hervani et al. (2005) määrittelevät tyypilliset ympäristöön liittyvät suorituskykymittarit toimitusketjun hallinnassa ja logistiikassa seuraavasti:

- kokonaisenergiankulutus ja muu käytetty energia
- veden ja sähkön kokonaiskulutus
- polttoaineen kokonaiskulutus ja muiden käytettyjen materiaalien kulutus
- yrityksen liiketoiminnan alaiset ympäristöön kohdistuvat parannukset ja vahingot.

Energiatohokkuuden mittaamisen näkökulmaa voidaan tarkastella erilaisten yrityksen strategisia valintoja korostavien tasapainotettujen mittaristojen kuten Balanced scorecard (BSC) -järjestelmän avulla. Balanced scorecard on mittaamis- ja johtamistapa, joka sisältää yrityksen strategisista painotuksista johdettuja sekä taloudellisia että operationaalisia ei-taloudellisia mittareita, joilla mitataan asiakastytyväisyyttä, sisäisiä prosesseja ja organisaation innovaatio- ja kehityskykyä. Mittarit pyrkivät antamaan kattavan yleiskuvan yrityksen tilasta kuvaten toiminnan tuloksia. Balanced Scorecard koostuu tyypillisesti neljästä ulottuvuudesta, jotka ovat oppimisen ja kasvun näkökulma, taloudellinen näkökulma, asiakkaan näkökulma ja liiketoimintaprosessien näkökulma. Mittareiden kehittämisessä organisaatiota on analysoitava ja tietoa kerättävä kaikista näkökulmista. Balanced scorecardia on laajennettu käsittämään myös ympäristöllisen suorituskyvyn mittausta ja sitä voidaan hyödyntää myös energiatohokkuuden mittaamisessa. Järjestelmä voisi sisältää esimerkiksi seuraavia ympäristöön liittyviä mittareita: energiankulutus, kasvihuonekaasupäästöt, asiakaspalautukset ja kierrätystulot. Kuvassa 2.9 on esimerkkejä ympäristövaikutusten mittareista Balanced Scorecard -kategorioissa. Balanced scorecardia voidaan pitää lupaavana lähestymistapana, mikäli se toteutetaan tehokkaasti ja hyväksytään kaikissa organisaatioissa. (Hervani et al. 2005, Epstein ja Wisner 2001, Brewer ja Speh 2001)

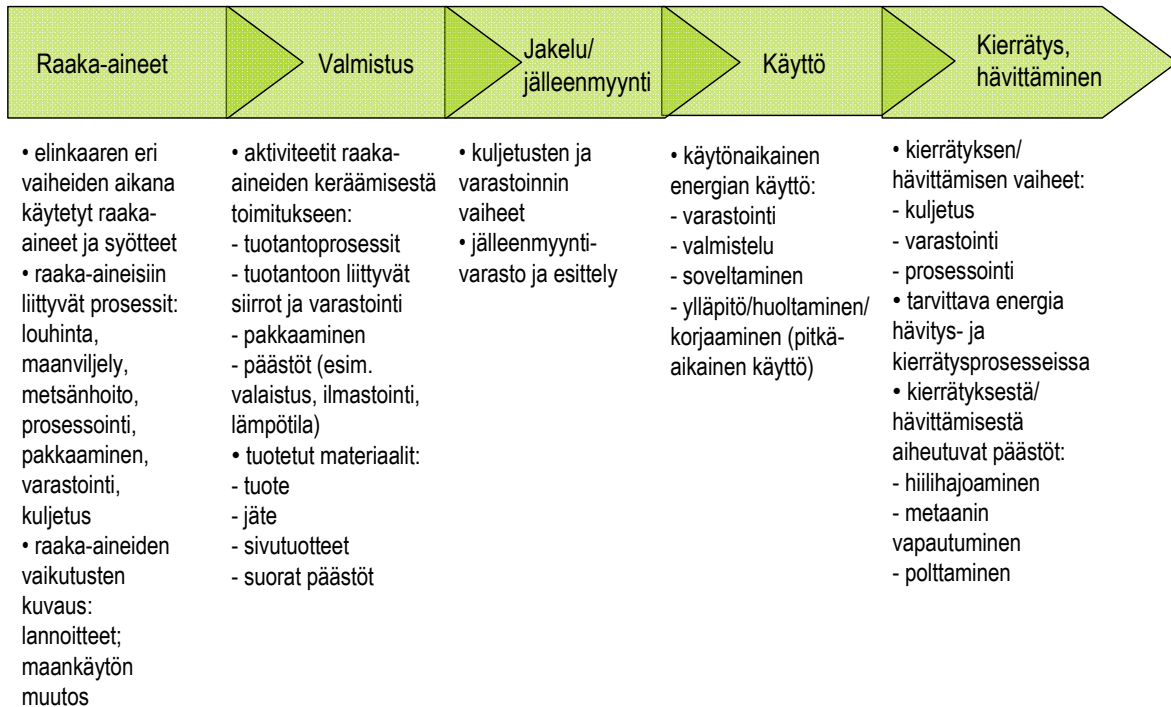
<p><u>Taloudellinen</u></p> <ul style="list-style-type: none"> •Tulot •Investoinnit •Toimintakulut •Jätekulut •Kierrätystulot •Tulot ympäristömyönteisistä tuotteista •Sakot ja rangaistukset •Ympäristötoimien kustannussäästöt 	<p><u>Liiketoimintaprosessit</u></p> <ul style="list-style-type: none"> •Kierrätettävät tuotteet ja toimitustarvikkeet (%) •Sertifioidut toimittajat •Sisäiset auditointipisteet •Energiankulutus •Sertifioidut palvelut (%) •Uudelleen tuotetut tuotteet (%) •Kasvihuonekaasupäästöt •Vaarallisten aineiden määrä
<p><u>Asiakas</u></p> <ul style="list-style-type: none"> •Ympäristömyönteiset tuotteet •Tuoteturvallisuus •Palautukset ja myynnistä poistetut tuotteet •Asiakaspalautukset •Tuotereklaamatot käyttöänoton jälkeen (%) •Tuotteen toiminnallinen ekotehokkuus 	<p><u>Oppiminen ja kasvu</u></p> <ul style="list-style-type: none"> •Koulutetun henkilöstön määrä (%) •Uusiutuvien luonnonvarojen käyttö (%) •Työntekijöiden raportoimat tapaturmat ja vahingot •Työntekijöiden kannustepalkat ympäristötavoitteisiin liittyen •Ympäristövastuulliset yksiköt •Ohjeistukset hätätilanteita varten

Kuva 2.9 Esimerkkejä ympäristövaikutusten mittareista Balanced scorecard -järjestelmässä. (Hervani et al. 2005, Epstein ja Wisner 2001, Brewer ja Speh 2001)

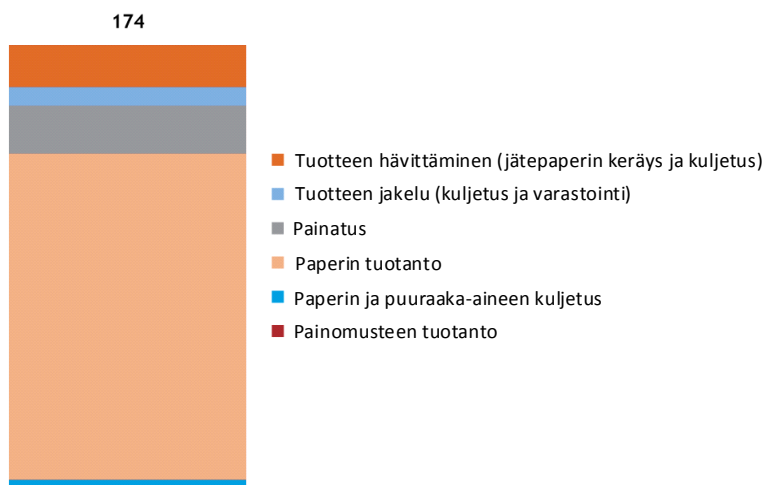
Tsoufas ja Pappis (2008) kuvaavat erilaisia toimitusketjun hallinnan mittareita seuraavista toiminnoista ja perspektiiveistä: tuote- ja prosessisuunnittelu, tuotanto, pakkaaminen, kuljetus ja keräily, kierrätys ja tuotteen käytöstä poisto, ympäristönäkökulman huomioon ottaminen sisäisessä ja ulkoisessa liiketoiminnassa sekä muut johtamiseen liittyvät asiat. Energiatasehokkuuteen liittyvistä mittareista he mainitsevat esimerkiksi kierrätettyjen materiaalien käytön (osuus tuotteen massasta tai volyymista) ja polttoaineen kulutuksen jakelutoiminnoissa. Schwarz et al. (2002) korostavat toimitusketjun ympäristövaikutusten laskennassa mittareiden yhdistämistä eri toimitusketjun prosesseista. Perusmittarit kestävän toimitusketjun seurantaan ovat materiaali-intensiteetti, energiaintensiteetti, veden kulutus ja päästöt.

Hiilijalanjäljellä tarkoitetaan tuotteen, tapahtuman, organisaation tai yksittäisen ihmisen tuottamien kasvihuonekaasupäästöjen määrää. Hiilijalanjäljen laskenta muistuttaa raja-uksestaan elinkaarianalyysiä (kuva 2.10). Hiilijalanjälki soveltuu hyvin tuotteiden välisten ilmastomuutosvaikutusten vertailuun ja erilaisten ilmastomuutosvaikutusta vähentävien toimenpiteiden suunnitteluun. Vielä tällä hetkellä hiilijalanjäljen mittaamiseen ei ole yhteisesti hyväksyttyä menetelmää ja erityisesti mittaamisen tasearajat ovat epäselviä. Hiilijalanjälki on ääritapauksissaan voitu laskea ottamalla huomioon ainoastaan tuotteen välittömät hiilidioksidipäästöt tai laskemalla yksityiskohtaisesti tuotteen koko elinkaaren aikaiset välilliset tai välittömät hiilidioksidipäästöt. Ongelmallisin laskennan tasearajaan liittyvä raja on, laajennetaanko hiilijalanjäljen laskenta tuotteen raaka-aineiden ja väli-tuotteiden jalostuksen välillisiin hiilidioksidipäästöihin. Lisäksi vielä toistaiseksi ei ole yhtenevää käsitystä siitä, voidaanko laskenta rajata välittömiin tuotannon, prosessien tai yksilön toiminnasta aiheutuviin hiilidioksidipäästöihin. Parhaillaan on valmisteilla hiili-jalanjäljen laskentastandardi tuotteille ja palveluille (ISO/TC 207/SC7), jossa on kytkentä myös toimitusketjun vaikutusten arviointiin. (Carbon Trust 2008)

Kuvassa 2.11 on esitetty esimerkki hiilijalanjäljen laskentaa koskevasta tuloksesta sanomalehtipaperille. Iso-Britanniassa uusiopaperista valmistetun Daily Mirror -sanomalehden koko toimitusketjun aikainen hiilidioksidipäästö on 0,95 kg hiilidioksidia yhtä myytävää sanomalehtikiloa kohti. Noin 80 % hiilijalanjäljestä aiheutuu paperin ja raaka-aineiden tuotannosta. Paperiteollisuudessa käytetyllä energianlähteellä on suuri merkitys hiilijalanjäljen laskennan kannalta. Mikäli paperi tuotetaan hiilineutraalilla sähkötuotantotavalla, tuotannon hiilijalanjälki pienenee olennaisesti. (Carbon Trust 2006)



Kuva 2.10 Hiilijalanjäljen laskennassa tyypilliset huomioon otettavat elinkaaren vaiheet. (Carbon Trust 2008)



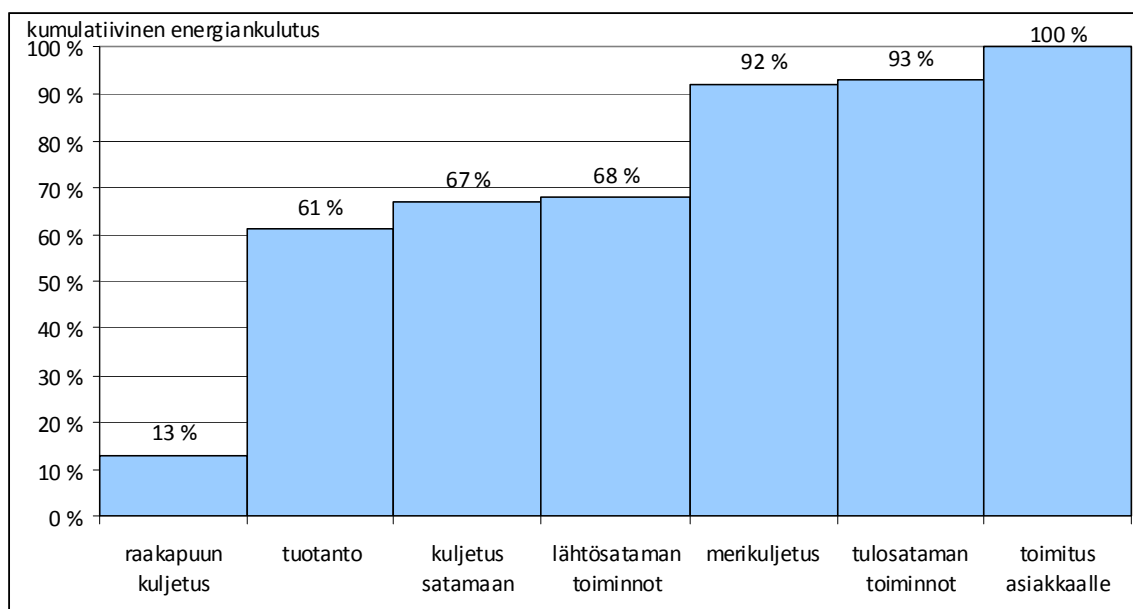
Kuva 2.11 Iso-Britannialaisen sanomalehden (Daily Mirror) hiilijalanjälki (hiilidioksidigrammaa/sanomalehti). Sanomalehti on painettu Iso-Britanniassa tuotetulle uusiopaperille. (Carbon Trust 2006)

Hiilijalanjäljen laskennan on ennakoitu siirtävän logistiikan energiatehokkuuden painopistettä nykyistä enemmän hankintaprosesseihin, erityisesti tuotannon sijaintipaikkojen valintaan ja raaka-aineiden hankintakanavien valintaan. Viime vuosikymmenen trendinä havaittava tuotannon siirtäminen kustannustasoltaan edullisiin maihin on muuttanut olennaisesti toimitusketjujen rakennetta kasvattamalla hankintaketjujen pituutta ja lisäämällä toimitusketjujen kuljetusintensiivisyyttä. Globaalit hankintakanavat lisäävät kuljetuskustannusten lisäksi välillisiä kustannuksia kasvattamalla tuotteen hiilijalanjälkeä. Mikäli kuljetusten osuus kokonaishiilidioksidipäästöistä kasvaa tulevaisuudessa ennakoitulla tavalla, kuljetusintensiivisyyden vähentäminen nousee toimitusketjujen suunnittelussa tärkeäksi tavoitteeksi. (Christopher et al. 2007)

Mittausjärjestelmän suunnitteluvaiheessa ylimmän johdon on pohdittava mittariston tavoitteita, sen sopivuutta koko toimitusketjun strategiaan, miten kerättyjä tietoja käytetään ja levitetään ja pitäisikö informaatio yhdistää muihin järjestelmiin. Suunnittelu tulisi aloittaa määrittämällä järjestelmän tavoitteet. Mittausjärjestelmän tulisi olla sopiva organisaatioiden ympäristöjohtamisjärjestelmiin. Ympäristöjohtamisen vaikutuksia toimitusketjussa on tutkittu käyttämällä Ecological Supply Chain Analysis -menetelmää. Tämä elinkaarianalyysiin perustuvaa johtamismenetelmä painottaa elinkaarianalyysin ja GSCM:n läheistä yhtäläisyyttä. Arviointimatriisi jakaa yrityksen toimitusketjun kuuteen osaan ja arvioi ympäristövaikutusten arvoa toimitusketjun eri osissa: materiaalin hankinnassa, tuotantoa edeltävässä toiminnassa, tuotannossa, käytössä, jakelussa ja tuotteen käytöstä poistossa. Menetelmällä voi vertailla eri tuotteita, mutta sen käyttökelpoisuus laajemmin koko monien toimitusketjun kumppaneiden kesken on epäselvä. (Hervani et al. 2005)

Logistiikan suorituskyvyn mittaamiseen sovelletaan useimmiten erilaisia toisiaan täydentäviä mittareita. Ongelmia suorituskyvyn mittauksessa on toimitusketjun toimijoiden erilaisuus, mittareiden standardisoinnin puutteet ja mahdollisesti huono teknologinen yhteensopivuus. Lisäksi organisaatioiden sisäisiin prosesseihin keskittyneiden johtajien on vaikea hallita koko toimitusketjua mittaavia mittareita. Yksittäisen toimijan käytössä olevat suorituskyvyn mittaamismenetelmät riippuvat olennaisesti organisaation liiketoimintayksikön strategista ja tavoitteesta.

Tyypillisin tapa mitata logistiikan energiatehokkuutta on tarkastella kumulatiivista energiankulutusta tuotteen koko toimitusketjun aikana (Quariguasi Frota Neto et al. 2007). Kuvassa 2.12 on esitetty esimerkki Suomessa tuotetun sahatavaran toimitusketjun energiankulutuksen jakautumisesta toimitusketjun eri osavaiheisiin. Sahatavaran tuotanto kuluttaa suhteellisesti melko vähän energiaa ja tuotteen kumulatiivisen energiankulutuksen laskennassa sen osuus on noin puolet sahatavaran toimitusketjun energiankulutuksesta. Toimitusketjun muista vaiheista suurin on valmiin tuotteen merikuljetus ulkomaille, jonka osuus kokonaisenergiankulutuksesta on noin neljännes. (Liedes ja Arposalo 2006)

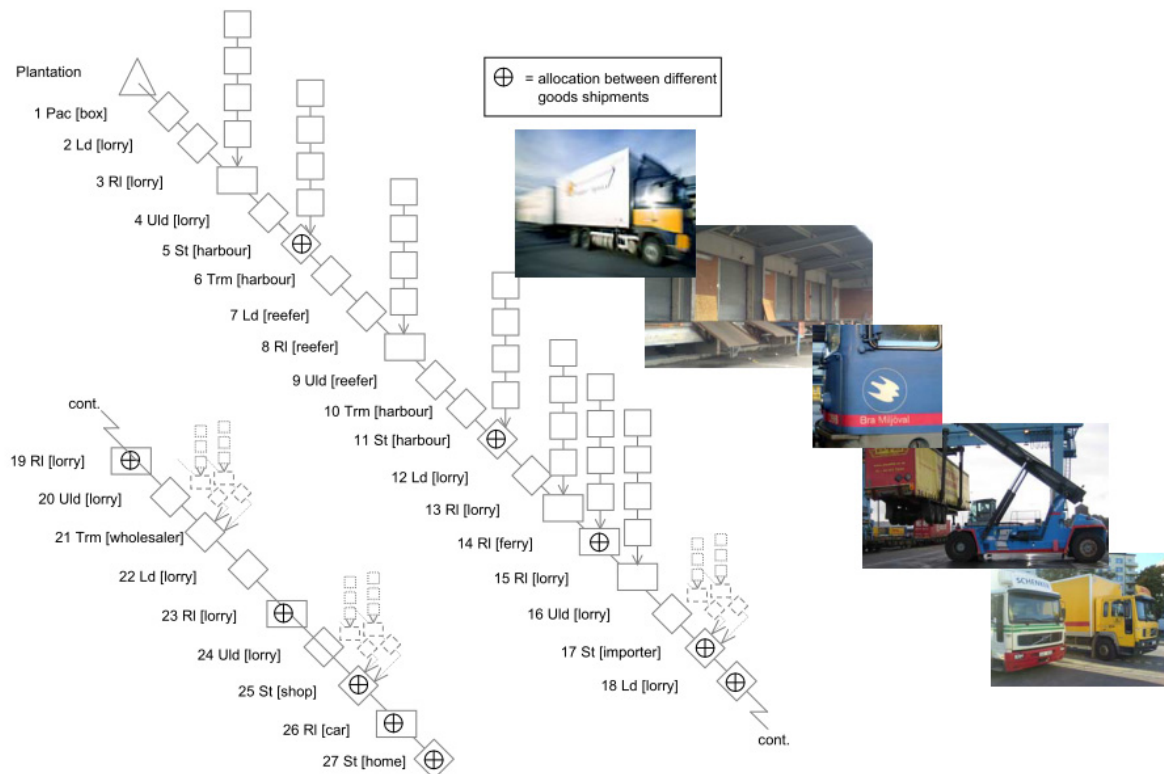


Kuva 2.12 Esimerkki sahatavaran energiankulutuksesta. (muokattu lähteestä Liedes ja Arposalo 2006)

Logistiikan energiatehokkuutta voidaan kuljetusten näkökulmasta lähestyä seuraavista näkökulmista (Heriot-Watt University 2007):

- logistinen tehokkuus, jonka tavoitteena on vähentää kuljetussuoritetta, parantaa kuormitusastetta ja valita mahdollisimman oikean kokoinen kuljetuskalusto tai optimoida koko kuljetusketju raaka-aineesta lopputuotetoimituksiin asti
- ajoneuvojen energiatehokkuus, jossa energiankulutusta vähennetään ajoneuvoteknisin keinoin
- ajotavan energiatehokkuus, jossa koulutuksen ja informaatiojärjestelmien kautta vähennetään ajon aikaista energiankulutusta
- ajoreitin energiatehokkuus: tieto kuljetusreitistä, tietoa tie- ja liikenneolosuhteista, reitinopastus- ja navigointimahdollisuudet.

Jotta energiatehokkuutta olisi mahdollista mitata ja tarkastella koko toimitusketjun aikana, toimitusketju on purettava yksityiskohtaisiin osiin. Kuvassa 2.13 on esitetty esimerkiksi tuotteen koko kuljetusketjusta raaka-aineesta lopputuotteen jakeluun asti. Teollisessa tuotannossa toimitusketjutarkasteluista tulee helposti erittäin laajoja, mikäli tarkastelu ulotetaan hankintalogistiikassa raaka-aineiden tuotantoon asti.



Kuva 2.13 Esimerkki tuotteen koko kuljetusketjusta raaka-aineesta kuluttajalle asti. (Bäckström 2008)

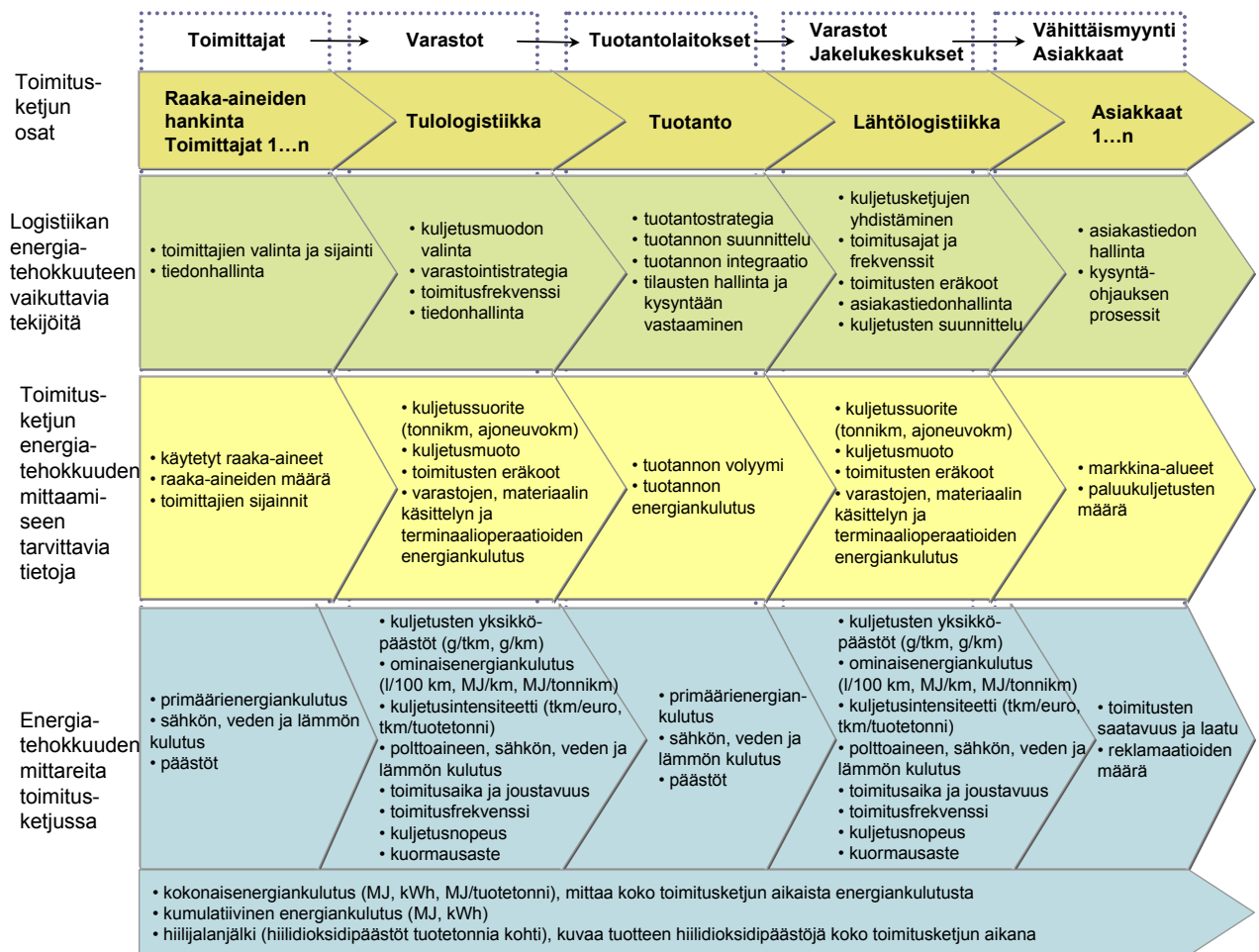
Kuljetusketjun ympäristövaikutusten laskenta sisältää aina epävarmuuksia, jotka liittyvät mm. käytettyyn ajoneuvotyyppiin, ajoneuvojen välisiin eroihin polttoainekulutuksessa ja ominaispäästöissä, kuljettajan ajotapaan, ajo-olosuhteisiin, käytetyn polttoaineen ominaisuuksiin, todelliseen kuljetusetaisyyteen, täyttöasteeseen ja kuormatilan allokointiin eri kuljetusasiakkaille. Parhaimmillaankin ympäristövaikutusten laskentaan käytettävät arvot ovat laajaan aineistoon perustuvia keskiarvoja, jotka kuvaavat karkealla tasolla eri kuljetusketjujen ympäristövaikutuksia. (Bäckström 2008)

Kuormitusasteen laskennassa yleisesti mitoittavat tekijät ovat (Bäckström 2008)

- jakelu – pinta-ala, tilavuus
- bulkkikuljetukset – kokonaismassa, tilavuus
- lentoliikenne – kokonaismassa
- konttikuljetukset – TEU-määrä
- roro-alukset – kuorma-auton tai perävaunun vaatima tila (pinta-ala)

Eurooppalainen CEN (European Committee for Standardization) on aloittanut kuljetusten energiankulutuksen ja kasvihuonekaasupäästöjen arviointia koskevan standardointityön vuonna 2008. Kuljetuksia käsittelevä standardi (CEN / TC 320 Methodology and calculation, declaration and reporting on energy consumption and GHG emissions in transport services) valmistuu vuonna 2011. Sen tavoitteena on luoda yhtenäiset laskentatavat ja käsitteet kuljetusketjujen tarkasteluun ja tuottaa tietoa hiilijalanjäljen laskentaan.

Kuvassa 2.14 on esitetty toimitusketjun eri osien energiatehokkuuteen vaikuttavia tekijöitä, esimerkkejä energiatehokkuuden arviointiin tarvittavista lähtötiedoista sekä esimerkkejä energiatehokkuutta kuvaavista indikaattoreista.

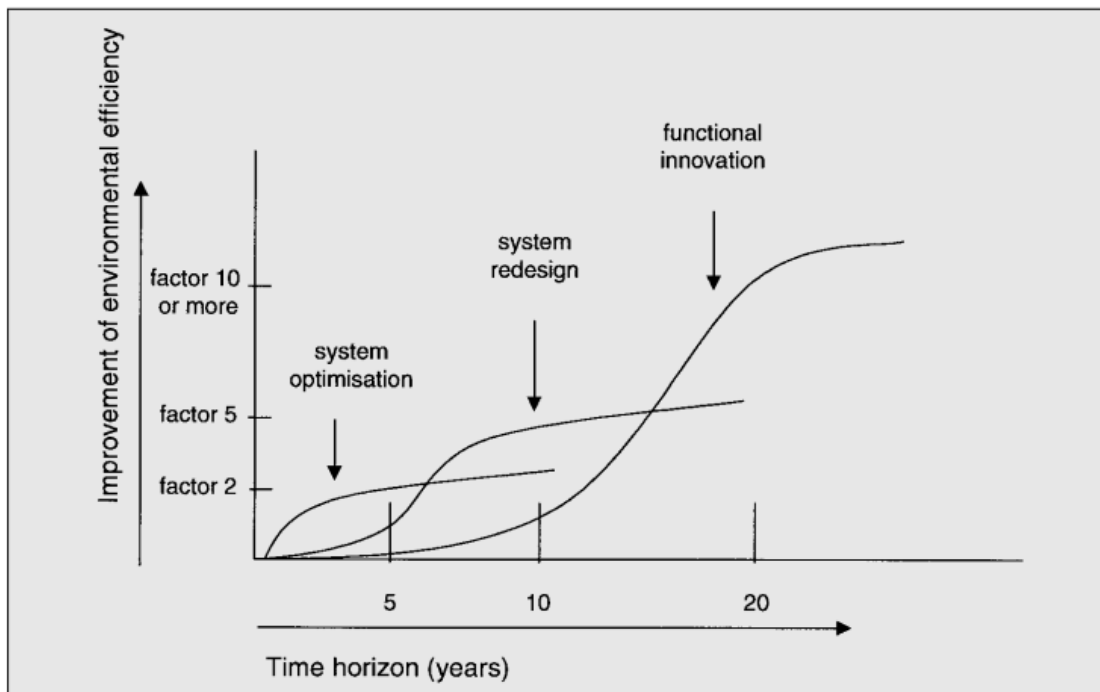


Kuva 2.14 Esimerkkejä logistiikan energiatehokkuuden mittareista toimitusketjussa.

3. Energiatehokkuuden parantamiseen soveltuvia toimenpiteitä

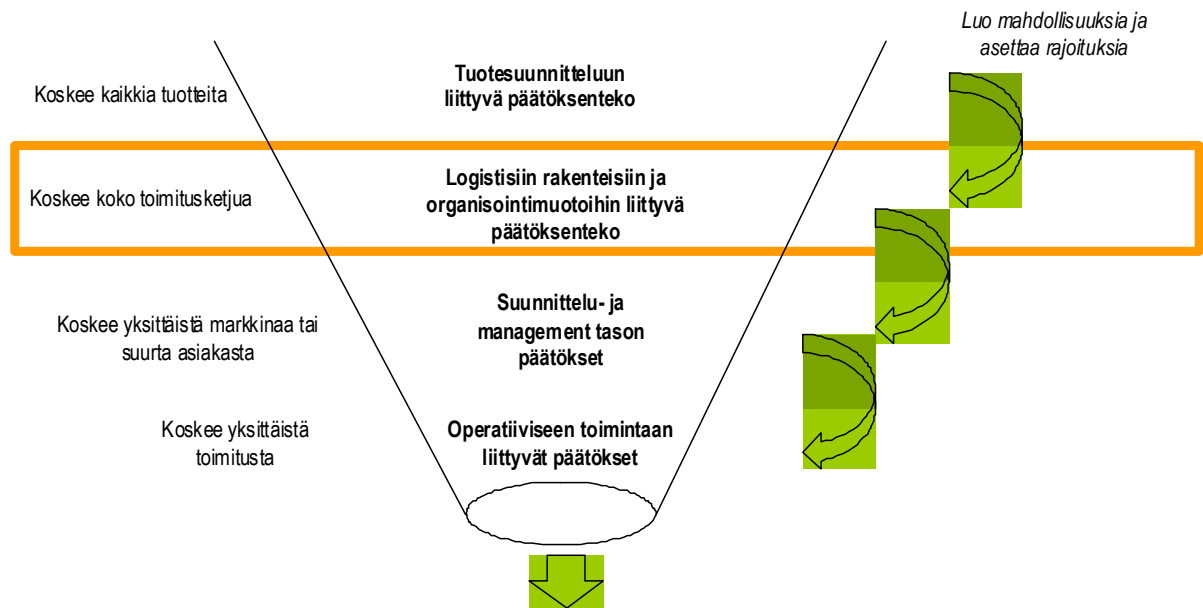
3.1 Energiatehokkuustoimenpiteiden ryhmittely ja hierarkia

Energiatehokkuuden parantamisen hierarkkiset toimenpiteet alkavat lyhyellä aikavälillä toteutettavista nykyisen toimitusketjun optimoinnista, jossa toteutusaikavälin voidaan arvioida olevan alle 5 vuotta. Toimitusketjun uudelleen suunnittelun ja esimerkiksi tuotesuunnittelun ja tuotannon suunnittelun toteuttamiseen liittyy monia strategiseen päätöksentekoon liittyviä vaiheita, joiden läpivientiin kuluu tyypillisesti 5–15 vuotta. Toimintatapaa muuttavien innovaatioiden läpivientiin kuluu usein vuosikymmeniä. Operatiivisia tuotteen ympäristövaikutuksia vähentäviä toimenpiteitä on mahdollista toteuttaa niin lyhyen aikavälin operatiivisissa päätöksissä kuin pitkän aikavälin strategisissa päätöksissä. Ekotehokkuuden kehittämisen on ennakoitu edellyttävän toiminnallisia innovaatioita, jotka mahdollistavat kokonaan uusia toimintatapoja. (Tukker et al. 2001)



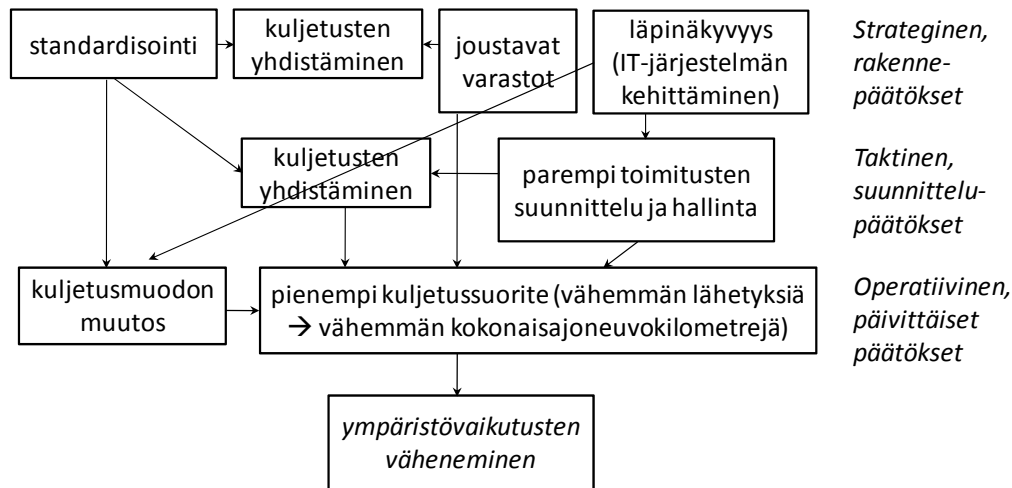
Kuva 3.1 Tuotteen ympäristövaikutusten vähentämisen tasojen hierarkkisuus ja aika-akseli. (Tukker et al. 2001)

Logistiikan kehittämisessä on tunnistettavissa yritysten hierarkkiset päätöksentekoprosessit. Usein strategisella tasolla tehdyt päätökset rajaavat myöhemmissä vaiheissa tehtäviä taktisia ja operatiivisia päätöksiä. Kuva 3.2 esittää logistiikan osa-alueiden hierarkkisuutta päätöksenteon näkökulmasta. Strategiset päätökset, jotka liittyvät esimerkiksi tuotesuunnitteluun ja tuotevalikoimaan, ohjaavat toimitusketjun rakennetta ja hallinnointia. Toimitusketjun rakenne puolestaan rajaa kuljetuserien, toimitustapojen ja yksittäisen kuljetuksen suunnittelun mahdollisuuksia. Siirryttäessä hierarkiatasolla alemmas mahdollisuudet energiatehokkuuden parantamiseen pienenevät. Energiatehokkuutta tulisikin tarkastella päätöksenteossa kaikilla hierarkiatasoilla samanaikaisesti kuin kustannuksia, aikaa ja muita palvelutasotekijöitä. (Aronsson ja Huge Brodin 2006)



Kuva 3.2 Logistiikan osa-alueiden hierarkkisuus. (Aronsson ja Huge Brodin 2006)

Aronsson ja Huge Brodin (2006) ovat kartoittaneet strategisten, taktisten ja operatiivisten toimien yhteyksiä ja arvioineet, että eniten kuljetussuoritteisiin ja tuotteen kuljetusintensiteettiin voidaan vaikuttaa strategisen tason päätöksillä. Osa strategisen tason päätöksistä heijastuu operatiiviselle tasolle muiden suunnitteluvaiheiden kautta (kuva 3.3). Tärkeimmiksi logistiikan osa-alueiksi energiatehokkuuden kehittämisen näkökulmasta on tunnistettu raaka-aineiden hankinta, tuotantostrategia ja tuotannon suunnittelu, kuljetusten yhdistely, kuljetusmuodon valinta, pakkausten suunnittelu, tuotteiden kierrätys ja tiedon hallinta.



Kuva 3.3 Esimerkki eri tasoilla toteutettujen toimenpiteiden kytkeytymisestä toisiinsa. (Aronsson ja Huge Brodin 2006)

Esimerkkejä erilaisista strategisista, taktisista ja operatiivisista päätöksistä toimitusketjun hallinnassa on esitetty taulukossa 3.1. Toimenpiteet on jaettu toimintojen sijoittumisen, materiaalivirtojen, informaation ja asiakaspalvelujen ryhmiin. Käytännössä tuotannon sijoittumiseen ja asiakaspalveluun liittyvät ratkaisut tehdään pääosin strategisella tasolla. Materiaali- ja tietovirtojen suunnitteluun sen sijaan liittyy monia taktisia ja operatiivisia päätöksiä. (Beamon 2005)

Strategisista päätöksistä eniten ympäristövaikutuksiin vaikuttavat tuotantolaitosten sijoittumiseen liittyvät ratkaisut, jotka osaltaan vaikuttavat ratkaisevasti kuljetustarpeisiin ja vaihtoehtoisten kuljetusketjujen keskinäiseen kilpailukykyyn. Materiaalivirtojen suunnittelussa ratkaistaan tyypillisesti kuljetustarpeisiin liittyvät yksityiskohdat ja tehdään kuljetusketjuja koskevat ratkaisut. Asiakaspalvelun merkitys on toimitusketjun suunnittelussa olennaisen tärkeä, sillä ne määrittelevät mm. toimitusaikoja ja kustannuksia koskevat reunaehdot. (Beamon 2005)

Taulukko 3.1 Hierarkkiset päätöksentekotasot toimitusketjun hallinnassa. (Beamon 2005)

Päätöksentekotaso	Strateginen	Taktinen	Operatiivinen
Sijaintipäätökset	tuotantolaitosten määrä ja sijainnit	tuotantolaitosten suunnittelu	
Materiaalivirta	kuljetusmuodon valinta, toimittajien valinta, jakelukeskusten jälleenmyyjien tehtävät, varastointistrategiat, jakelustrategiat	Varastojen hallinta, varaston kierto	Tuotannon suunnittelu, täydennysmäärät, täydennysaikaväli, kuljetusreitit ja aikataulut, tilausprosessin toiminnot
Informaatio	Tietojärjestelmän suunnittelu, tiedonhallinnan ja -valinnan periaatteet	Kysyntätiedon ennustamisen menetelmät, tilastointi ja raportointi	Ajantasaisen tiedon hallinta
Asiakaspalvelu	Standardit ja tavoitteet	Tilausprioriteettien pelisäännöt	

McKinnon (1999) on suositellut tutkimuksessaan neljän logistiikan päätöksentekotason monitorointia energiatehokkuusarvioinneissa:

- 1) logistisen järjestelmän rakenne, kuten tuotantolaitosten ja varastojen määrä, sijainti ja kapasiteetti
- 2) hankinta- ja markkinointialueiden laajuus, sisältäen hankinnan, alihankinnat ja jakelun
- 3) tuotannon ja lähtölogistiikan suunnittelu
- 4) kuljetusten suunnittelu

Logistiikan energiatehokkuustoimenpiteet on tässä yhteydessä ryhmitelty seuraaviin pääryhmiin riippuen siitä, mihin toimitusketjun osaan toimenpide kohdentuu:

- tuotesuunnittelu
- hankintalogistiikka
- tuotanto
- lähtölogistiikka
- paluukuljetukset.

3.2 Raaka-aineiden tuotanto ja hankintalogistiikka

Raaka-ainevirrat ovat perusteellisuudessa tyypillisesti volyymiltaan suuria ja säännöllisiä. Siten raaka-aineiden hankinnalla on merkittävä rooli näiden yritysten toimitusketjun hallinnassa. Perusteellisuuden hankintatoimessa vaikuttavia tekijöitä ovat globaali hankinta, toimittajien valinta, hankintaerien suunnittelu ja kuljetusten suunnittelu sekä koko raaka-ainevirtojen optimointi tuotantoprosessin tarpeen mukaan. Raaka-ainehankinta on nykyisin hyvin kehittynyttä toimintaa ja juuri hankintojen kehittäminen on useassa suuressa teollisuusyrityksessä ollut erityisen kehittämisen painopistealueena viime vuosien aikana. ICT-järjestelmien tehokas hyödyntäminen on oleellinen osa tämän päivän hankintatoimien sisältäen sekä toimittajaverkoston hallinnan että materiaalivirtojen tarvesuunnittelun. Perusteellisuudessa raaka-ainelähteiden sijainti ja saatavuus ovat myös yksi merkittävä tuotannon sijaintiin vaikuttava tekijä. Painotukset eri tuotannontekijöiden suhteen vaihtelevat teollisuuden aloittain ja yrityksittäin, mutta suurten volyymien vuoksi raaka-ainevirrat ovat yksi huomioon otettava tekijä.

Metsäteollisuuden puunhankinta Suomen osalta on muuttunut viimeisen noin vuoden aikana jonkin verran, kun Venäjän puutullien myötä tuontipuun määrä on vähentynyt. Kotimaan puunhankinnan virrat on suunniteltu osittain uudelleen, kun eri tuotantoyksiköiden puunhankinta-alueet ovat muuttuneet. Samalla kuljetusjärjestelmään on muodostettu keskitettyjä materiaalivirtoja siten, että pitkä runkokuljetus hoidetaan rautateitse muutamilta keskitetyiltä puunkuormauspaikoilta, joihin puu tuodaan luonnollisesti autokuljetuksilla. Siten pitkämatkainen puun kuljettaminen autokuljetuksina on jossain määrin vähentynyt ja siirtynyt rautateille. Tällä saattaa olla vaikutusta myös puunhankinnan kuljetusjärjestelmän energiatehokkuuteen, jos sitä tarkastellaan kokonaisuutena verrattuna aikaisempaan järjestelmään. Tämä muutos ei ole kuitenkaan muuttanut autokuljetusten rengasreitteihin perustuvaa puunhankintakuljetusten järjestelmää, jonka tarkoituksena on ollut tyhjänä ajon minimointi ja siten kustannustehokkuuden hakeminen. Useassa tieteellisessä artikkelissa ja myös tämän hankkeen asiantuntijahaastatteluissa on todettu, että pääsääntöisesti kustannustehokkaimmat logistiset ratkaisut ovat myös energiatehokkaimpia. Siten nämä molemmat tavoitteet ovat yhdensuuntaisia ja toisiaan tukevia.

Metsäteollisuuden tuotantorakenteeseen kuuluvassa sellun tuotannossa on 2000-luvun puolella tapahtunut merkittäviä muutoksia. Selluntuotantokapasiteettia on rakennettu mm. Etelä-Amerikkaan, josta tuodaan eukalyptuspohjaista sellua myös Suomen paperitehtaille kotimaisen sellun sijaan. Tällaisten ratkaisujen energiatehokkuuden tarkastelussa on kuitenkin syytä varoa liiallisia yksinkertaistuksia, vaan tarkasteluissa olisi otettava huomioon koko sellun tuotantoon sitoutuva energia ja erilaisen käytetyn raaka-aineen vaikutukset paperin tuotantoprosessiin. Siten vaikka sellun kuljetusmatka muodostuu tällaisessa järjestelmässä pitkäksi ja kuluttaa paljon energiaa, tällaisista tuotantorakenteen merkittävistä muutoksista johtuva energiatehokkuuden muutos edellyttää yksityiskohtaista laajemman kokonaisuuden tarkastelua, jota tässä tutkimuksessa ei ole tehty.

Metalliteollisuuden raaka-ainehankintaan liittyy kuljetusvirtojen lisäksi toimiminen globaaleilla raaka-ainemarkkinoilla, koska suuri osa toimialan käyttämästä raaka-aineesta hinnoitellaan raaka-ainepörsseissä. Hintavaihtelut voivat olla hyvinkin suuria ja hankintojen ajoituksella saattaa olla huomattava vaikutus koko liiketoiminnan kannattavuuteen. Tämän vuoksi raaka-ainehankintojen logistisia ratkaisuja ei voi suunnitella ainoastaan kustannustehokkaiden kuljetusratkaisujen mukaisesti, vaan kyse on laaja-alaisemmasta optimointihaasteesta. Silloin vaikuttavina tekijöinä ovat erä koko, toimitustiheys, toimittajien valinta, hankinnan ajoitus ja useat muut muuttujat, kun suunnitellaan raaka-ainehankintojen logistisia ratkaisuja. (Rantala 2006)

Globaalilla markkinalla toimivilla yrityksillä hankintaprosessien tarkastelu on tärkeää myös toiminnan haavoittuvuuden ja riskien hallinnannäkökulmasta. Coyle et al. (1996) määrittelee hankintatoimen yksinkertaisimmillaan tuotteiden ja palvelujen ostamiseksi, joka ylittää usein erilaisia organisaatorajoja. Porterin (1985) usein viitattu arvoketjumalli korostaa hankintojen strategista merkitystä ja myös kriittisenä toimitusketjun eri osapuolten toimintoja yhdistävänä tekijänä. Nykyinen globaali hankinta edellyttää strategista ajattelua ja lähestymistapaa kompleksisten ja fyysisestikin pitkien toimitusketjujen hallitsemiseksi. Tuotteiden hankintaan liittyvän strategian valintaan, ostaminen vai toimittajaverkoston kehittäminen ja hallinta, vaikuttaa toisaalta tuotteen saatavuuteen liittyvät ominaisuudet ja toisaalta tuotteen merkitys yrityksen liiketoiminnalle tai tuotantoprosessille (Minner 2003, Talluri ja Narasimhan 2004).

Toinen merkittävä näkökulma prosessiteollisuuden hankinnoille on tuotteiden elinkaaren lyheneminen ja liiketoimintaympäristön yleinen dynaamisuuden lisääntyminen. Kotabe and Murray (2004) toteavat, että yrityksille on välttämätöntä jatkuvasti tuottaa ja kehittää omaa kilpailuetuaan kilpailijoidensa suhteen ja globaali hankinta on lisääntyvässä määrin strategiseksi tekijäksi menestyäkseen globaaleilla markkinoilla. Globaali hankinta melko luonnollinen kehitystrendi paikallisen hankinnan sijaan, koska globaali kilpailu on lisääntynyt ja markkinat ovat yhä enemmän integroituneet, ja silloin luontainen kehityssuuntaus on lisätä globaalia komponenttien ja raaka-aineiden hankintaa (Samli et al. 1998).

Hankintatoimen kuljetusratkaisujen suhteen tavarantoimittajalla on periaatteessa vastuu tuotteen toimittamisesta toimitusehtojen mukaisesti tuotantolaitokselle. Periaatteessa tilanne on vastuukysymysten suhteen selkeä, mutta perusteellisuuden erittäin suurten hankintavolyymien ollessa kyseessä ja myös niiden kriittisyyden vuoksi teollisuusyritykset usein osallistuvat raaka-ainevirtojen suunnitteluun, ohjaamiseen ja seurantaan. Esimerkiksi raakapuuvirrat ovat kokonaan teollisuuden omassa ohjauksessa, mutta esimerkiksi teollisuuskemikaalit ovat yleensä toimittajien ja niiden logistiikkakumppaneiden ohjauksessa ja vastuulla määriteltujen reunaehtojen ja vaatimusten puitteissa. Myös raaka-ainevirrat toimivat pääsääntöisesti reaaliaikaisen ohjauksen periaattein, jossa pääsääntöisesti raaka-aineet kuljetetaan suoraan tuotantoon. Tällainen hankintatoimen ohjaus edellyttää hyvin kehittyneitä tietojärjestelmiä materiaalivirtojen suunnitteluun ja ajoittamiseen. Esimerkiksi metsäteollisuuden raakapuukuljetukset ovat yksi ensimmäisiä sovel-luskohteita ajoneuvopäätteiden käyttöönotossa sekä reaaliaikaiseen puunhankinnan ohjaukseen ja seuraamiseen. Sama kehitys on tapahtunut mm. teollisuuskemikaalien toimituksissa metsäteollisuudelle eli pääsääntöisesti kemikaaleja kuljettava logistiikkaoperaattori seuraa kemikaalisäiliöiden täyttöastetta omassa kuljetusten suunnittelutoiminnassa ja siten suunnittelee itsenäisesti mahdollisimman kustannustehokkaat kuljetusreitit sovit-tujen periaatteiden mukaisesti. ICT:n rooli hankintatoimen suunnittelussa, toteutuksessa ja seurannassa on siten nykyisessä toimintaympäristössä aivan keskeisessä roolissa.

Taulukkoon 3.2 on koottu raaka-aineiden tuotantoon ja hankintalogistiikkaan liittyviä toimenpiteitä, jotka vaikuttavat logistiikan energiatehokkuuteen ja ympäristövaikutuk-siin.

Taulukko 3.2 Raaka-aineiden tuotantoon ja hankintalogistiikkaan toimenpiteitä.

Toimenpide	Kuvaus	Kohdentuminen		
		strate- ginen	taktinen	opera- tiivinen
Kuljetustarpeen huomi- oon ottaminen raaka- aineiden hankinta- alueiden valinnassa	Raaka-ainehankintojen suunnit- telu siten, että myös kuljetus- ten energiankulutus lasketaan kokonaisenergiankulutusta ar- vioitaessa	xxx	xx	x
Tietojärjestelmien hyö- dyntäminen raaka- ainetoimitusten suunnit- telussa	ICT-sovellusten (esimerkiksi RFID-tekniikan) hyödyntäminen varastotaseen seurannassa runkokuljetusten, toimituserien ja toimitusaikojen optimoinnissa	xxx	xxx	xx
Raaka-ainetoimitusten eräkoon suunnittelu	Kuljetusten täyttöasteen, kulje- tusmuodon valinnan ja varas- toimitaseen huomioon ottami- nen raaka-ainetoimitusten suunnittelussa	xxx	x	x
Raaka-ainetoimitusten kuljetusten suunnittelu ja kuljetusmuodon valinta	ks. lähtölogistiikan toimenpiteet	xxx	xx	xx

3.3 Tuotanto ja tuotesuunnittelu

Tässä tutkimuksessa tuotannon energiatehokkuuden näkökulma on jätetty vähemmälle huomiolle, vaikka tuotantologistiikka onkin oleellinen osa toimitusketjun hallintaa. Koko tutkimusprojektissa on erikseen teollisuusprosessien osa-alue, joka keskittyy tarkemmin tuotantoprosessien energiatehokkuuteen ja siihen vaikuttaviin kehittämistoimintaan. Tuotannon osalta sijaintitekijät ja niihin liittyvä eri kuljetusmuotojen käytettävyys erityisesti rautatie- ja merikuljetusten osalta ovat mielenkiintoisia tekijöitä myös tämän tutkimuksen näkökulmasta. Energiatehokkuustarkastelujen lisäksi eri kuljetusmuotojen saatavuus ja käytettävyys vähentävät myös mahdollisia häiriötilanteita yritysten kuljetusjärjestelmässä. Lisäksi tuotantoyksiköiden sijainti ja strategisesti suunniteltu jakelujärjestelmä sijaintiratkaisuineen muodostavat perustan energiatehokkaiden toimitusketjujen kehittämiselle ja toiminnalle.

Perinteisesti metsäteollisuudessa tuotantolaitokset ovat sijoittuneet lähelle puuraaka-ainelähteitä ja toisaalta myös tuotantoprosessissa tarvittavan energian ja veden saatavuuden suhteen. Globalisoituneessa toimintaympäristössä sijaintikriteerit ovat jossain määrin muuttuneet, vaikka edelleen samat perustuotannontekijät ovat voimassa. Eli työvoiman, energian, veden ja raaka-aineiden saatavuus sekä logistiset tekijät vaikuttavat tuotannon optimaaliseen sijaintiin ja erityisesti potentiaalisten markkinoiden läheisyys ja logistiikan painoarvo näyttääkin nousseen metsäteollisuuden tuotantostrategioihin liittyvässä päätöksenteossa.

Lopputuotteiden kuljetusten näkökulmasta tarkasteltuna perusteellisuuden tuotantolaitokset sijaitsevat joko satamien läheisyydessä tai sisämaassa hyvien tie- ja ratayhteyksiin saavutettavissa. Tällä on energiatehokkuuden kannalta suuri merkitys, että voidaan käyttää mahdollisimman suuria kuljetusyksiköitä, kuten rautatie- ja merikuljetuksia sekä intermodaalikuljetuksia, joissa tuoteyksikkökohtainen energiatehokkuus on mahdollisim-

man hyvä. Toisaalta useiden kuljetusmuotojen käytettävyys tarjoaa teollisuusyrityksille joustavuutta ja mahdollisuuksia erilaisten logististen toimintamallien toteuttamiselle. Lopputuotteiden kuljetusjärjestelmä eli jakelujärjestelmä varasto- ja terminaalirakenteineen vaikuttaa sekä energiatehokkuuteen että palvelutasotekijöihin perusteellisuuden suurivolyymisessa tuotannossa. Strategisesti tärkeimmille markkina-alueille sijoitetut logistiikkakeskukset tarjoavat mahdollisuuden toisaalta materiaalivirtojen keskittämiseen ja siten juna- ja laivakuljetusten hyödyntämiseen tuotannosta logistiikkakeskuksiin. Toisaalta tällainen jakelurakenne tarjoaa mahdollisuudet asiakaskohtaiseen tuotteiden räätälöintiin, joustavaan toimintamalliin ja asiakkaan toivomiin toimituseriin mahdollisimman kustannus- ja energiatehokkaalla tavalla. Tällainen toimintamalli vähentää myös toimistusten häiriöriskiä ja tarjoaa hyvät mahdollisuudet kuljetuspalvelujen kustannustehokkuuden varmistamiseen.

Khoo et al. (2001) ovat tutkimuksessaan mallintaneet metalliteollisuuden toimitusketjua ympäristövaikutusten ja energiatehokkuuden näkökulmasta. Tulosten perusteella alihankintaketjuissa on mielekästä suosia energiatehokkaita raaka-aineen tuotantolinjoja, vaikka kuljetusetäisyydet olisivatkin melko pitkiä, sillä energian tuotannon osuus koko toimitusketjun energiankulutuksesta on huomattavan suuri. Toisaalta tuotantolaitosten sijoittelussa edullisimmiksi paikoiksi osoittautuivat ne sijainnit, joissa kierrätysmateriaalien saanti oli helpointa ja jakeluetäisyydet olivat kohtalaisen lyhyitä.

Tässä hankkeessa on käsitelty pääasiassa raskaan perusteellisuuden toimintamalleja sekä niiden vaikutuksia logististen ratkaisujen energiatehokkuuteen. Muilla teollisuuden aloilla sijoittumiseen suhteessa raaka-ainelähteisiin vaikuttavat erilaiset lainsäädännölliset tekijät. Esimerkiksi elintarviketeollisuudessa eläinkuljetuksiin kohdistuu paljon vaatimuksia aikataulutuksen suhteen, joka osaltaan vaikuttaa siihen kuinka kaukaa tuotantolaitoksesta eläimiä voidaan kuljettaa. Lisäksi erilaisiin raaka-aineisiin liittyy hygieniä- sekä kuljetusketjuun liittyviä vaatimuksia, jotka osaltaan rajaavat potentiaalisia hankinta-alueita ja toisaalta vaikuttaa sijoittumiseen. Suurelta osin elintarviketeollisuuden tuotekuljetukset ovat melko paikallista toimintaa johtuen tuoreusvaatimuksista sekä maakohtaisista erilaisista sertifiointi- ja tarkastusvaatimuksista. Tämä vain yhtenä esimerkkinä siitä, että teollisuuden alat ovat sijoittumisen ja kuljetusjärjestelmän suunnitteluperiaatteiden suhteen hyvin erilaisia ja siten energiatehokkuustarkastelujen perusteella ei voida tehdä kaikkia teollisuudenaloja koskevia suosituksia, vaan toimialakohtaiset erot on otettava huomioon.

Tuotesuunnittelu

Logistiikan ympäristövaikutukset tulisi ottaa huomioon tuotesuunnittelun eri vaiheissa. Esimerkiksi raaka-aineiden valinnassa myös raaka-aineiden hankinnan energiatehokkuus olisi otettava huomioon yhtenä valintatekijänä. Jo tuotesuunnittelussa voidaan ratkaista toimitusten yksikköko, mikä voi osaltaan vaikuttaa tuotekuljetusten kuormausasteeseen ja pakkausmateriaalien valintaan. Myös tuotteen materiaalivalinnoissa voidaan ottaa huomioon kierrätyksen ja paluukuljetusten vaatimukset. Yleisesti tuotesuunnittelussa pyritään optimoimaan tuotteen käyttöikä suhteessa tuotteen käytön aikaiseen energiankulutukseen.

Pakkausten ja tuotteen pakkaamisen suunnittelun merkitys on huomattavan suuri erityisesti lähtölogistiikan energiatehokkuuden ja kuljetussuoritteiden näkökulmasta. Oikein pakatut tuotteet vievät vähemmän tilaa ja niiden käsittely on helpompaa. Myös ajoneuvojen täyttöaste (tonneina) voidaan hyödyntää tehokkailla pakkauksilla paremmin. Pakkausten tulee kestää kuljetusten aiheuttamat fyysiset rasitukset ja pakkausten kuormaaminen päällekkäin tulisi olla mahdollista. Vahingoittuneista tuotteista aiheutuu taloudellisia menetyksiä, mutta myös niiden paluukuljetukset vaikuttavat osaltaan tuotteen kokonaisenergiankulutukseen. Pakkausten suunnittelussa huomioon otettava näkökulma on myös

pakkausmateriaalin valinta, sillä vähentämällä pakkausmateriaalia voidaan vähentää pakkausjätteen paluukuljetuksia. (Heriot-Watt University 2007)

Tuotannon integraatio

Merkittävä energiansäästöpotentiaali koko logistiikkaketjussa sisältyy teollisuusprosessien integrointimahdollisuuteen, jossa tuotanto sijoitetaan siten, että kuljetustarve pienee. Ääritapauksissa teollisuuden prosessit voivat sijaita etäällä toisistaan, jolloin kuljetusten energiankulutus on huomattavasti suurempi kuin esimerkiksi tilanteessa, jossa välituotteiden prosessit sijaitsevat lähellä toisiaan. Esimerkiksi teollisuuden sivutuotteita hyödyntävä teollinen tuotanto on joissakin tapauksissa voitu sijoittaa sivutuotetta tuottavan yksikön läheisyyteen.

Perusteollisuudessa tuotannon integraatiolla on suuri vaikutus toimitusketjun energiatehokkuuteen. Esimerkiksi metsäteollisuudessa mielenkiintoinen vertailukohde on sellun tuotanto Etelä-Amerikassa sijaitsevalta tuotantolaitokselta suomalaiselle paperitehtaalte verrattuna Suomessa ja mahdollisesti paperitehtaan välittömään läheisyyteen integroidun sellutehtaan tuotannon välillä. Tällaisessa vertailussa on kuitenkin oleellista, että otetaan huomioon myös tuotantoprosessin erot, ei ainoastaan kuljettamiseen käytetty energiamäärä. Myös käytettävä puuraaka-aine on aivan erilainen näissä vaihtoehdoissa, joten tuotantoprosessin erot saattavat olla suuremmat kuin kuljetusten tässä vertailussa. Yhteenvedona tästä voidaan todeta, että toimitusverkoston suunnittelu on erittäin laaja-alainen ja kompleksinen päätöksentekoprosessi, jossa on paljon erilaisia muuttujia myös energiatehokkuustarkastelujen näkökulmasta.

Toimitusketjun ohjaus

Prosessiteollisuuden toimitusketjuissa on erityisenä piirteenä tuotannon vaikutus koko toimitusketjun hallinnan toimintaperiaatteisiin. Tuotannon joustavuus ja kyky vastata nopeisiin kysynnän muutoksiin ovat kiinteässä yhteydessä tällaisten teollisuuden alojen toimitusketjuratkaisuihin. Yksi keskeisimmistä liiketoiminnan menestystekijöistä perusteollisuudessa on yhdistää ja optimoida suurten volyymien massatuotannon skaalaedut asiakasohjautuviin toimitusketjuihin tarjoten asiakaskohtaisesti räätälöityjä tuotteita, nopeaa reagointia muuttuviin asiakastarpeisiin sekä nopeaa toimitusketjun läpimenoaika. Perusteollisuudessa tuotantokapasiteetin hyödyntäminen kokonaisuudessaan on yksi liiketoiminnallisesti kannattavan toiminnan perusta, joka pyritään markkinatilanteeseen sopeutuen säilyttämään. Siten asiakasohjautuvuuden osatekijät toteutetaan käytännössä jakelurakenteella sijoittamalla logistiikkakeskuksia strategisesti tärkeille alueille, joista voidaan toteuttaa asiakastoimitukset pienemmissä erissä ja jossain määrin myös tehdä asiakaskohtaista tuotteiden räätälöintiä. (Shah 2005, Rantala 2006)

Logistiikan energiatehokkuuteen voidaan vaikuttaa toimintaketjun ohjauksella ja vaikuttamalla ohjausperiaatteisiin. Logistiikan perusedellytykseksi on muodostunut nopeus ja joustavuus, mikä on usein johtanut pieniin toimituseriin ja energiatehokkuuden kannalta epäedullisiin kuljetusratkaisuihin. Tärkeä tekijä logistiikan energiatehokkuuden parantamisessa on kysyntään vaikuttaminen siten, että logistiikan reaktioaikoja voitaisiin hidastaa, jotta kuljetusketjujen suunnittelussa voitaisiin ottaa huomioon myös energiatehokkuus.

Taulukkoon 3.3 on koottu tuotannon suunnitteluun ja tuotesuunnitteluun liittyviä toimenpiteitä, jotka vaikuttavat logistiikan energiatehokkuuteen ja ympäristövaikutuksiin.

Taulukko 3.3 Tuotannon suunnitteluun ja tuotesuunnitteluun liittyviä toimenpiteitä.

Toimenpide	Kuvaus	Kohdentuminen		
		strate- ginen	takti- nen	opera- tiivinen
Tuotannon suunnittelu				
Tuotannon integrointi	Tuotannon ja välituotteiden tuotannon sijoittaminen siten, että kuljetustarve minimoituu	xxx	x	
Kuljetusmahdollisuuksien huomioon ottaminen tuotantolaitosten sijoitumisessa	Mahdollisuudet meri-, rautatie- ja tiekuljetuksiin vähentävät riippuvuutta yhdestä kuljetusmuodosta ja antavat mahdollisuuksia energiatehokkaisiin kuljetuksiin.	xxx		
Tuotesuunnittelu				
Tuotteen käyttöiän optimointi energiankulutuksen kannalta	Tuotesuunnittelussa varaudutaan pitkään käyttöikään, joka vähentää jake- lu- ja paluukuljetusten määrää	xxx		
Pakkausmahdollisuuksien huomioon ottaminen tuotesuunnittelussa	Optimoimalla pakkauskoko käytetyn kuormatilan mukaisesti vähentää tilantarvetta ja ajoneuvojen tai yksikköpakkauksen täyttöaste voidaan hyödyntää paremmin.	xxx	x	
Kierrätettävyyden, jätekertymän ja paluukuljetusten optimointi tuotteen materiaalivalinnois- sa	Tuotteen materiaalivalinnoissa otetaan huomioon käytöstä poistetun tuotteen kierrätettävyyden ja paluukuljetusten tarve.	xxx	x	
Toimitusketjun ohjaus				
Toimitusten eräkoon ja toimitustiheyden suunnittelu kuljetustarpeen kannalta optimaalisesti	Asiakastoimitusten suunnittelu siten, että kuljetuksissa päästään mahdollisimman suuriin täyttöasteisiin ja voidaan käyttää energiatehokkaita kuljetusmuotoja.	xxx	xx	xx
Logistiikkakeskusten ja varastojen hyödyntäminen tuotantokapasiteetin ja asiakastoimitustarpeen yhteensovittamiseksi	Strategisille markkina-alueille sijoituvilla logistiikkakeskuksilla voidaan taata joustavat asiakastoimitukset ja toimitusvarmuus sekä nostaa runkokuljetusten kuormitusastetta ja hyödyntää energiatehokkaita kuljetusmuotoja.	xxx	xx	x
Pakkausten suunnittelu				
Pakkauskoon optimointi tilantarpeen kannalta	Optimoimalla pakkauskoko käytetyn kuormatilan mukaisesti vähentää tilantarvetta ja ajoneuvojen tai yksikköpakkauksen täyttöaste voidaan hyödyntää paremmin.	xxx	xx	x
Pakkausten päällekkäin kuormattavuuden parantaminen	Pakkausten päällekkäin kuormaaminen edellyttää pakkauksen rakenteiden ja materiaalien fyysistä kestävyyttä, mutta mahdollistaa ajoneuvojen suuremman täyttöasteen.	xx	xx	x
Pakkausmateriaalin valinta	Pakkausmateriaalin valinnalla voidaan vaikuttaa kuljetettavan tavaraerän kokonaispainoon, syntyvän pakkausjätteen määrään ja pakkausten mahdolliseen paluukuljetustarpeeseen.	xxx	xx	

3.4 Lähtölogistiikka

Lähtölogistiikan onnistuminen ja energiatehokkuuden parantaminen lähtee liikkeelle hyvästä ennakkosuunnittelusta. Logistisessa ketjussa kuljetukset ovat viimeinen ja myös näkyvin osa asiakkaalle. Jos tilaus on asiakaslupauksesta jo tuotannossa myöhässä, ei sitä enää kuljetuksella saada kiinni.

Asiakkaat odottavat palvelutasolta sekä toimitusaikojen lyhenemistä että toimitusvarmuuden paranemista. Toimitusten eräkoot ovat myös pienentyneet koko ajan. Energia-
tehokkuuden kannalta suuremmat toimitusten eräkoot ovat kuitenkin edullisempi vaihtoehto. Suuremmat toimitusten eräkoot ja harvempi toimitusfrekvenssi vähentävät ajokilometrien määrää ja siten polttoainetta kuluu vähemmän ja päästöjä ympäristöön syntyy vähemmän. Suuremmilla toimitusten eräkoilla voidaan nostaa myös ajoneuvojen kuormitusastetta. Toimitusten ennakkosuunnittelulla toimitusten eräkokoa on usein mahdollista suurentaa.

Kuljetusreittien optimoinnilla on monissa tutkimuksissa havaittu saavutettavan kustannussäästöjä ja ympäristöhyötyjä. Jakelun ja reittien optimoinnin on arvioitu soveltuvan hyvin erityisesti niillä sektoreilla, jossa tietoja kuljetusten asiakastarpeista ja tilausprosesseista on saatavilla kootusti. Suomalaisessa OPT-LOG-hankkeessa havaittiin, että tietokoneavusteisen optimoinnin avulla esimerkiksi koulukuljetuksissa ja vanhusten ateriakuljetuksissa oli mahdollista vähentää 20–50 % ajettujen kilometrien määrää. Kotisairaanhoidon optimoinnilla voitiin saavuttaa parhaimmillaan jopa 70 %, jätekuljetuksissa 40 % ja kaupallisissa elintarvikekuljetuksissa 10 % säästöt. (Bräysy 2007)

Tärkein polttoaineenkulutukseen vaikuttava tekijä on kuorma-auton massa. Hankittavan kaluston mitoittamiseen todellisen tarpeen mukaan onkin kiinnitettävä huomiota. Toiseksi tärkein tekijä on kuljettajan ajotapa. Ajotavan myötä kuorma-auton polttoaineenkulutus voi vaihdella jopa 30 %. Kuljettajan ja auton polttoaineenkulutuksen jatkuvaan seurantaan on olemassa teknisiä järjestelmiä, joiden käytöllä voidaan vähentää energiankulutusta ja ennen kaikkea automatisoida ja parantaa kaluston polttoaineenkulutuksen raportointia. Kuorma-autojen polttoaineenkulutuksessa on myös merkkikohtaisia eroja, jotka voidaan ottaa huomioon autoja hankittaessa. Kuorma-autojen polttoaineenkulutusta voidaan pienentää myös auton aerodynamiikkaa ja renkaita kehittämällä, mutta taajamaajossa näiden tekijöiden vaikutukset jäävät melko pieniksi. (VTT 2006, Liimatainen 2007)

Tietojärjestelmien hyödyntämisellä on arvioitu lisäävän mahdollisuutta saada tosiaikaista tietoa asiakastarpeesta. Tietojärjestelmien hyödyntämisen on arvioitu lisäävän toimitusketjun läpinäkyvyyttä, lisäävän ajoneuvojen keskimääräistä kuormitusastetta, vähentävän keskimääräistä kuljetusetaisyyttä sekä lisäävän kuljetusten suunnittelun joustavuutta. (Léonardi ja Baumgartner 2004).

Jakelujärjestelmien kehittäminen

Logistiikan ja kuljetusjärjestelmien merkittävänä osana yritysten logistista järjestelmää tulee olla yhdenmukainen tuotettavien tuotteiden kanssa, koska asiakkaat eivät pääsääntöisesti erota tuotetta ja niitä toimittavaa jakelujärjestelmää toisistaan. Oleellista on asiakkaan arvon maksimointi ja logistiikka yhtenä merkittävänä asiakaspalveluun vaikuttavana tekijänä on suunniteltava tukemaan kokonaisuutta. Toinen keskeinen jakelujärjestelmään vaikuttava tekijä, jotka liittyvät nykyisiin logistisiin ratkaisuihin ja lean-ajattelun periaatteisiin, on varastoinnin välttäminen, joka edellyttää tuotteiden toimittamista täsmällisesti asiakastarpeen mukaisesti toimitusketjun jokaisessa vaiheessa. (Caputo et al. 2003, Hesse and Rodrique 2004) Tämä johtaa toimituserien pienemiseen ja toimitustiheyden kasvamiseen, joka on jo vuosia vallinnut kehityssuuntaus toimitusketjun hallinnassa ja tämä koskee käytännössä kaikkia toimialoja, myös tämän tutkimushankkeen case-kohteena olevaa perusteollisuutta. Suurten volyymien teollisuudenalana tällainen

kehityssuuntaus aiheuttaa suuria haasteita logistiikan suunnittelulle, miten yhdistää taloudellisesti kannattavalla tavalla massatuotannon skaalaedut ja asiakaslähtöinen jakelujärjestelmä. Juuri jakelujärjestelmän rakenteella pienenevien toimituserien ja lisääntyvän frekvenssin aiheuttamaan haasteeseen vastataan. Jakelujärjestelmän optimaalinen ja onnistunut suunnittelu saattaa muodostaa myös merkittävän kilpailuedun lähteen perusteellisuuden yrityksille.

Kuljetusmuodon valinta

Vaikka sähkövetoisen rautatieliikenteen ja laivakuljetusten keskimääräinen ominaisenergiankulutus on huomattavasti tiekuljetuksia pienempi, näiden kuljetusmuotojen suosimiseen energiatehokkuuden parantamiseksi ei lyhyellä aikavälillä ole kovin suurta potentiaalia. Rautatiekuljetusten lisäämistä rajaa rataverkon kapasiteetti, joka on ruuhkaisimmilla rataosuuksilla rajallinen. Rautatiekuljetusten osuuden merkittävä lisääminen edellyttäisi suuria ratainvestointeja. Myös logistiikkapalvelujen merkitys eri kuljetusmuotojen välisessä työnjaossa on suuri. Nykyisin esimerkiksi rautatie- ja vesikuljetuksiin on mahdollisuuksia vain suuria kuljetuseriä tarvitsevilla toimijoilla, käytännössä suurilla teollisuusyrityksillä. Kuljetusten siirtäminen kuorma-autokuljetuksista rautateille tai rannikolta sisävesikuljetuksiksi edellyttäisi myös nykyisistä poikkeavia toimintatapoja, joissa kuljetuserien, varastoinnin ja toimitusten suunnittelu eroaa huomattavasti nykyisestä toimintamallista.

EU:n liikennepoliittisissa linjauksissa suositaan rautatie- ja yhdistettyjä kuljetuksia sekä lyhytmatkaista meriliikennettä perustuen liikenneinfrastruktuurin ruuhkautumisen vähentämiseen ja toisaalta ympäristökysymyksiin. Keski-Euroopan osalta, missä ruuhkautuminen on Suomen tilanteeseen verrattuna aivan eri luokan ongelma, myös rataverkolla on paljon pullonkauloja ja kapasiteettiongelmia, joten kaikilta osin kuljetusten siirtäminen rautatiekuljetuksiksi tai yhdistetyiksi kuljetuksiksi ei ole suuressa mitassa mahdollista ilman merkittävää rautatiekuljetusinfrastruktuuriin liittyvien kapasiteettiongelmien ratkaisemista. Suomessa ruuhkaisia rataosuuksia on suhteellisen vähän ja rautatiekuljetusten käytön lisääminen nykyisestä eurooppalaisittain korkeasta osuudesta edellyttää rautatieoperaattorilta aivan uudenlaista lähestymistapaa omaan palvelutarjontaan. Eli silloin olisi tarjottava nykyistä enemmän palveluja myös muille tavaravirroille teollisuuden suurvolyymien kokojuniin perustuvien tavaravirtojen lisäksi.

Taulukkoon 3.4 on koottu tuotannon lähtölogistiikkaan liittyviä toimenpiteitä, jotka vaikuttavat logistiikan energiatehokkuuteen ja ympäristövaikutuksiin.

Taulukko 3.4 Lähtölogistiikkaan liittyviä toimenpiteitä.

Toimenpide	Kuvaus	Kohdentuminen		
		strateginen	taktinen	operatiivinen
Toimitusketjun ohjaus				
Kuljetusten ja toimitusten kokonaisvaltainen suunnittelun parantaminen	Verkoston suunnittelu. Logististen pisteiden sijainnit. Ympäristön huomioon ottaminen kuljetusten ja toimitusten suunnittelussa	xxx	xx	
Tavaravirtojen yhdistely	Kuljetusten suunnittelu siten, että yhdistellään raaka-aine- ja valmistuotekuljetuksia, yhteistyö muiden kuljetusten ostajien kanssa	xxx	xx	x
Toimitusten ennakko-suunnittelun kehittäminen	Mahdollistaa toimitusten eräkoon suurentamisen, jolloin päästään pienempiin toimitusfrekvensseihin.	x	xx	xxx

Toimenpide	Kuvaus	Kohdentuminen		
		strate- ginen	takti- nen	opera- tiivinen
Toimitusten seuranta ja varastotaseen optimointi	ICT-sovellusten (esimerkiksi RFID-tekniikan) hyödyntäminen varastotaseen seurannassa runkokuljetusten, toimituserien ja toimitusaikojen optimoinnissa	xx	xxx	xxx
Kuljetus- ja jakelureittien suunnittelun parantaminen	Ympäristön huomioon ottaminen kuljetusten ja jakelureittien suunnittelussa	xxx	xx	x
Suuremmat toimitusten eräkoot ja harvempi toimitusfrekvenssi	Toimitusten määrän vähentäminen ja varastoasteen kasvattaminen, ks. taulukko 3.3	xxx	xx	x
Tietojärjestelmien hyödyntäminen ja kehittäminen, tiedonkulun parantaminen	Mahdollistaa esim. reaaliaikaisen tiedon asiakastarpeesta. Muuttuvista tilanteista tiedottaminen. Myyntimäärien vaihteluista tiedottaminen. Organisaatioiden välisen tiedonkulun parantaminen ja kehittäminen	xxx	xx	
Myynnin, markkinoinnin ja logistiikkaorganisaation yhteistyön parantaminen	Vuorovaikutuksen lisääminen, keskinäiset koulutukset/työntekijöiden ristiinkouluttaminen.	xxx	xxx	xxx
Organisaatioiden välisen tiedonkulun parantaminen ja kehittäminen		xxx	xxx	xxx
Logistiikkakeskusten ja yhteisjakelun kehittäminen	Toimitusten yhdistämisen tehostuminen. Logistiikkakeskusten sijoittaminen.	xxx	xx	x
Kaksisuuntaisen jakelun toimivuus	Paluukuljetusten hyödyntäminen	xx	xxx	x
Kuljetusten suunnittelu ja kuljetuspalvelujen hankinta				
Kuljetusmuodon valinta	Eri kuljetusmuotojen vertailu ja valinta kustannustehokkaasti ja ympäristölähtöisesti	xxx	xx	x
Energiatehokkaan ajokaluston valinta	Energiankulutuksen ja päästöjen huomioon ottaminen ajokaluston valinnassa		xx	x
Taloudellinen ajotapa	Kuljettajaa opastavat järjestelmät, kannustemallit taloudellisen ajotavan lisäämiseksi, koulutus		xx	xxx
Kuljetusnopeuden alentaminen	Liikennevälineiden nopeutta alentamalla voidaan vähentää polttoaineenkulutusta.		xxx	xxx
Ympäristövaikutusten huomioon ottaminen kuljetus- ja logistiikkapalvelujen hankinnassa.	Kuljetusten tilaaja voi asettaa vaatimuksia kuljetuspalvelujen tuottajien ympäristövaikutuksiin esim. sopimusten kautta. Ympäristön huomioon ottaminen toimittajan valinnassa, esim. kalusto, polttoaine, ajotapa.	xxx	xx	x

Toimenpide	Kuvaus	Kohdentuminen		
		strate- ginen	takti- nen	opera- tiivinen
Kuljetusten täyttöasteen parantaminen	Täysien kuormien suunnittelu.		x	xxx
Navigointi- ja reitinopastusjärjestelmät	Optimaalisten kuljetusreittien käyttäminen.		xx	x
Kuljetusvaurioiden vähentäminen	Tuotteelle soveltuvien kuljetusmuotojen ja pakkausten käyttäminen. Huollellinen tuotteiden käsittely. Konttikuljetusten lisääminen. Uusien toimenpiteiden kehittäminen.		xxx	xx
Kuljetusten energiankulutuksen tiedonkeruun ja raportoinnin kehittäminen	Kuljetussuoritekohtaisen energiankulutuksen mittaaminen ja seuranta, kuljetusten energiakatselmusten toteuttaminen		xxx	xx
Terminaalitoimintojen energiankulutuksen seuranta	Eri kuljetusmuotojen välisten siirtojen energiankulutuksen vähentäminen, satamatoimintojen ja varastojen energiankulutuksen vähentäminen	xxx	xx	x
Virheellisten toimitusten vähentäminen ja käsittely	Toimitusten oikea-aikaisuuden hallinta, asiakastietojen hallinnan kehittäminen		xx	xxx

3.5 Paluukuljetukset

Paluulogistiikka ja paluukuljetukset ovat merkittävä osa toimitusketjun hallintaa ja energiatehokkuuden parantamisessa. Paluulogistiikan hallintaan panostamalla voidaan edesauttaa ympäristöystävällisen yrityskuvan muodostumista, joka taas luo paremmat edellytykset yrityksen liiketoiminnalle. Paluulogistiikka voidaan määritellä esineiden (uusien tai käytettyjen, materiaalien, komponenttien tai lopputuotteiden) hallinnaksi, jotka syystä tai toisesta lähetetään toimitusketjun jäsenen toimesta kenelle tahansa ketjussa paluusuuntaan olevalle jäsenelle. Fernandés (2004) täydentää määritelmään kuuluvaksi myös ne materiaalivirrat, jotka suuntautuvat pois alkuperäisestä toimitusketjusta niiden ollessa seurausta korjaukseen, arvon- tai materiaalinpalautukseen liittyvistä toiminnoista. Näin ollen määritelmään kuuluu esimerkiksi toiseen yritykseen korjattavaksi lähetettävät tai materiaalien uudelleen käyttöön tähtäävät toiminnot.

Yleisesti ottaen tuotteita palautetaan, mikäli ne eivät toimi tarkoituksenmukaisesti tai niitä ei enää tarvita. Paluulogistiikkaan liittyvien palautuksien syyt voidaan jaotella kolmeen ryhmään – valmistuksen palautuksiin, jakelijan palautuksiin ja asiakaspalautuksiin. Valmistuksen palautuksiin kuuluvat kaikki valmistusprosessin aikaiset materiaalien, komponenttien ja tuotteiden uudelleenkäyttöön tähtäävät palautukset. Tuotannon prosesseista saattaa esimerkiksi jäädä yli valmistusmateriaaleja, väli- tai lopputuotteita tai ne saatavat jäädä kiinni yrityksen laadunvalvontaprosessissa, jolloin ne on palautettava uudelleenvalmistettavaksi. (De Brito 2003)

Toimitusketjun jakelijan palautuksilla tarkoitetaan esimerkiksi tuotteiden takaisinkutsuja, B2B-, varaston tason hallinnasta johtuvia ja toiminnallisten pakkausmateriaalien palautuksia. B2B-palautukset ovat tilanteita, joissa ostajayrityksellä on oikeus esimerkiksi sopimuksellisista syistä palauttaa tuotteita myyjälle. Näitä voivat olla esimerkiksi virheelli-

set toimitukset tai myymättömät tuotteet, jotka jakelija palauttaa takaisinpäin toimitusketjussa. Varastotason hallinnalla tarkoitetaan esimerkiksi tilannetta, jossa varastotasoa tasataan eri paikoissa sijaitsevien varastojen tai myymälöiden välillä. Toiminnallisilla pakkausmateriaaleilla puolestaan tarkoitetaan esimerkiksi kuormalavoja. Niiden luonteeseen kuuluu toistuva käyttö ja toimitusketjussa molempiin suuntiin tapahtuvat virtaukset. Asiakaspalautukset tarkoittavat palautuksia sen jälkeen, kun tuotteet on jo toimitettu asiakkaille. Asiakaspalautuksia voi tapahtua asiakkaan katuessaan ostopäästöstään (edellyttää tietenkin oikeutta asiakaspalautukseen), takuupalautuksina, huoltopalautuksina ja käytöstä poiston seurauksena. (De Brito 2003)

Fernandes (2004) jaottelee käänteislogistiikan eri hyödyntämisvaihtoehdot kolmeen luokkaan, jotka sisältävät käänteislogistiikkaan liittyviä prosesseja: 1) tuotteen elinkaarta pidentävät vaihtoehdot, kuten suora uudelleenkäyttö, jälleenmyynti, korjaaminen, kunnostaminen ja uudelleenvalmistus, 2) tuotteessa käytetyn materiaalin elinkaarta pidentävät vaihtoehdot, kuten tiettyjen komponenttien uudelleenkäyttö ja kierrätys ja 3) muut vaihtoehdot, kuten energian talteenotto ja hävittäminen kaatopaikalle.

Yrityksen käänteislogistiikan tehottomien toimintojen oireita saattavat olla palautusten saapuminen tiheämmin, kuin mitä ehditään käsittelemään, suuret palautuneiden tuotteiden varastot, tuntemattomien palautusten saapuminen yritykseen sekä tietämättömyys toimintojen aiheuttamista kustannuksista. Erityisen tärkeää palautusten hallitsemisen kannalta on käsittelyaikojen mittaaminen. Ilman käsittelyaikojen seuranta yrityksen ei voi tietää kyseisten prosessien toimivuutta. Suurimpia käänteislogistiikkaan liittyviä haasteita onkin tiedon puute prosesseista. (Rogers ja Tibben-Lembke 1999).

Taulukkoon 3.5 on koottu paluulogistiikkaan liittyviä toimenpiteitä, jotka vaikuttavat logistiikan energiatehokkuuteen ja ympäristövaikutuksiin.

Taulukko 3.5 Paluulogistiikkaan liittyviä toimenpiteitä.

Toimenpide	Kuvaus	Kohdentuminen		
		strateginen	taktinen	operatiivinen
Virheellisten toimitusten käsittely	Virheellisten tuotteiden jatkokäsittelyn suunnittelu		xx	xxx
Paluukuljetusten suunnittelu	Kuljetusmuodon valinta, täyttöaste, paluusuunnan kuljetusten hyödyntäminen	x	xxx	xx

4. Case-tutkimus logistiikan energiatehokkuuden mittaamisesta

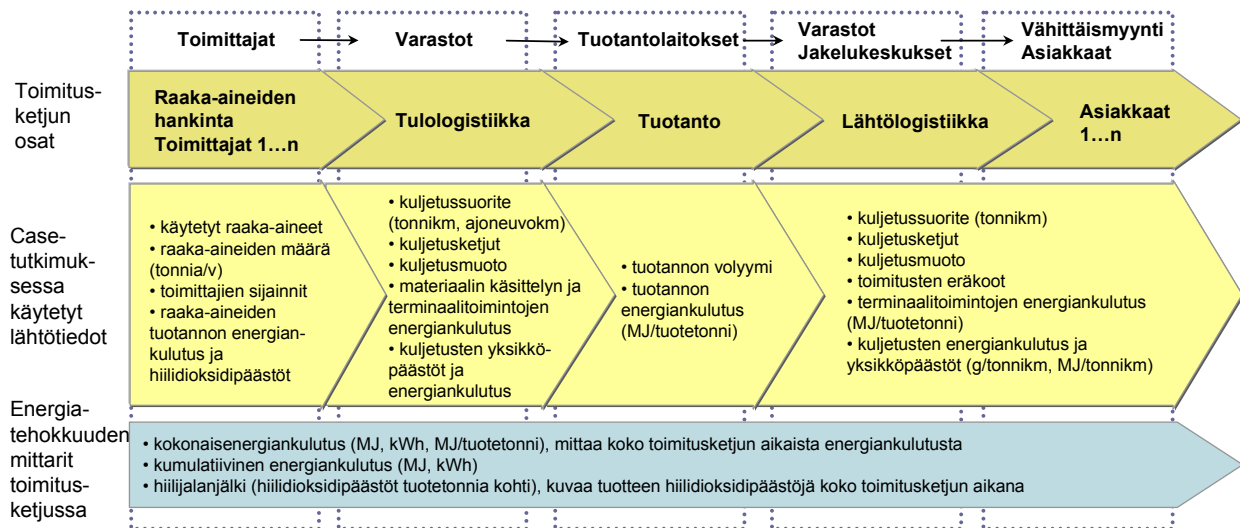
4.1 Case-kohteet

4.1.1 Case-kohteiden valinta

Logistiikan energiatehokkuuden mittaamista ja energiansäästötoimenpiteiden vaikutuksia ja soveltuvuutta tutkitaan hankkeessa case-tutkimuksen menetelmin. Case-tutkimus on toteutettu kahdessa eri perusteellisuuden yrityksessä, jotka edustavat metalli- ja paperiteollisuutta.

Perustuotantoon pohjautuvalle teollisuudelle ja yrityksille logistiikalla tavoiteltu kilpailuetu on erityisen tärkeää, vaikka osa tuotantoyksiköistä olisikin omilla markkina-alueilla. Suomen erityispiirteitä logistiikan kannalta ovat vaativat olosuhteet ja syrjäinen sijainti. Näiden vuoksi Suomessa toimivien yritysten on panostettava voimakkaasti logistiikkaan ja myös sen energiatehokkuuden tehostamiseen. On kehitettävä nykyisiä yhteistyösuhteita, etsittävä yhteistyöstä uusia muotoja ja mittakaavaetuja, sekä pohdittava erilaisten uusien logististen toimintamallien käyttöönottoa.

Case-tutkimuksen tavoitteena on ollut mitata case-yritysten logistiikan energiatehokkuutta erilaisin menetelmin ja vertailla menetelmien tuottamia tuloksia ja sovellettavuutta. Lisäksi tavoitteena on ollut kartoittaa mahdollisuuksia logistiikan energiatehokkuuden parantamiseen ja arvioida erilaisten energiatehokkuustoimien soveltuvuutta yritysten tarpeisiin. Case-tutkimuksen ensimmäisessä vaiheessa on kuvattu tarkasteltavat toimitusketjut ja kuljetusreitit, kartoitettu tarvittavat lähtötiedot ja muodostettu nykytilanteen kuvaus. Tämän jälkeen on laskettu energiankulutus ja hiilidioksidipäästöt tutkituissa toimitusketjuissa. Kuvassa 4.1 on esitetty laskennassa sovelletut lähtötiedot.



Kuva 4.1 Case-tutkimuksen toimitusketjujen rajausta, laskennan lähtötiedot ja sovelletut mittarit.

Logistiikan energiatehokkuuden mittaamiseksi tarvitaan yksityiskohtaiset kuvaukset mittattavista toimitusketjuista. Case-tutkimuksessa tarkastellaan muutamien tuotteiden tärkeimpiä toimitusketjuja, jotka on valittu yhdessä case-yritysten kanssa. Tarkastelun kohteena ovat lähinnä vientitoimitusketjut Suomen tehtailta eri puolelle Eurooppaa ja Venäjää. Mukana on tärkeimpiä kohteita ja suurimpia asiakkaita. Valituista toimitusketjuista on selvitetty tietoja raaka-aineista, hankintakanavista, tuotantoprosesseista, jakelukana-

vista ja markkina-alueista, varastoinnista, myynnistä ja markkinoinnista. Kuljetusketjut on käyty yksityiskohtaisesti läpi aina lähtöpaikasta määränpäähän sisältäen välivarastoinnit, käytettävät kuljetusmuodot, kuormaukset, lastaukset ja mahdolliset satamaoperaatiot.

Metalliteollisuusyrityksen osalta tarkastellaan vientitoimitusketjuja Suomesta Italiaan, Puolaan ja Venäjälle. Paperiteollisuuden osalta energiatehokkuuden tarkastelun kohteena ovat toimitusketjut Suomesta Englantiin.

4.1.2 Yksikköpäästökertoimet energiankulutuksen ja hiilidioksidipäästöjen laskennassa

Energiatehokkuuden laskennan lähtökohtana ovat kuvatut toimitusketjut ja kerätyt lähtötiedot. Toimitusketjujen energiatehokkuuden laskennassa keskityttiin erityisesti kokonaisenergiankulutukseen ja hiilidioksidipäästöihin. Energiankulutus ja hiilidioksidipäästöjen laskennassa on lähtötietoina käytetty VTT:n Lipaston tavaraliikenteen yksikköpäästökertoimia. Yksikköpäästöillä tarkoitetaan kuljetusvälineiden käytön aikaisia päästöjä ja energiankulutusta kuljetettua tavarayksikköä tai kilometriä kohden. Yksikköpäästötietoja tarvitaan esimerkiksi laskettaessa yksittäisen ajoneuvon tai tuotantolaitoksen kuljetuksista aiheutuvia päästöjä. Yhtenäinen ja ajanmukainen yksikköpäästötietokanta muodostaa perustan Suomessa tapahtuville kuljetusten päästölaskennoille.

Case-tutkimuksissa tonnikilometripohjaisia yksikköpäästökertoimia on käytetty sekä autokuljetuksissa että merikuljetuksissa. Autokuljetusten osalta kertomia on käytetty sekä Suomessa, että muissa vientikuljetusten kohdemaissa. Rautatiekuljetusten päästölaskentaan on käytetty EcoTransITin (The Ecological Transport Information Tool) laskentaohjelmaa muiden kuin Suomessa tapahtuvien rautatiekuljetusten osalta. Suomessa tapahtuviin rautatiekuljetuksiin on käytetty Lipaston yksikköpäästökertoimia. Kaikissa laskennoissa käytettiin keskimääräisiä kuormitusasteita ja esimerkiksi autokuljetuksissa 90 %:n kuormausastetta. Satamaoperaatioiden energiankulutusluvut pohjautuvat NTM:n (Nätverket för Transporter och Miljön, Ruotsi) tietokantaan. Case-kohteiden kuljetusketjujen energiankulutukset ja päästömäärät pohjautuvat kuljetettuihin kokonaistonnimääriin ja kokonaistonnikilometreihin. Esimerkilaskelmiin on molemmista case-yrityksistä valittu tietyt asiakkaat valituissa kohdemaissa. Energiatehokkuuslaskennassa keskitytään tase-rajaan A eli tuotannon ja lähtölogistiikan energiankulutukseen ja hiilidioksidipäästöihin.

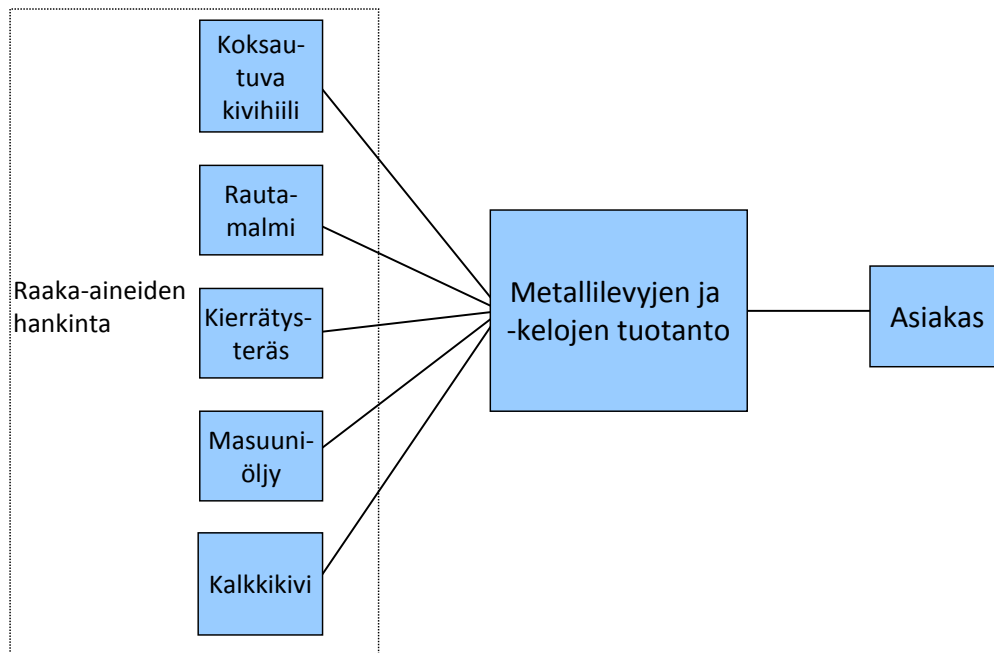
Kuljetusketjujen energiankulutuksen laskennassa ei ole otettu huomioon paluukuljetuksia, sillä suurimmassa osassa kuljetuksista paluukuljetuksina on mahdollista kuljettaa muita tuotteita paluusuunnassa. Osa paluukuljetuksista on tyhjänä ajoa, joten paluukuljetusten huomioon ottaminen lisäisi jonkin verran kuljetusketjujen energiankulutusta.

4.2 Metalliteollisuustuotteiden toimitusketjujen energiatehokkuus

Perinteinen metalliteollisuus on vaatinut mittavia investointeja kuljetus- ja varastointijärjestelmiin, jotta alhaisen jalostusasteen kookkaat tuotteet on voitu tehokkaasti kuljettaa asiakkaalle. Myös omistajien tuottovaatimukset edellyttävät muutoskykyä ja useissa tapauksissa huomattavaa kasvua markkinoilla. Jotta muutoskykyä ja kasvua on mahdollista saavuttaa, on logistiikan tuomat uudet mahdollisuudet otettava käyttöön. Logistiikan energiatehokkuuden tehostaminen on yksi mahdollinen keino muutoskyvyn ja kasvun saavuttamiseen kustannussäästöjen, kilpailuedun ja imagon kautta. Terästeollisuuden liiketoimintaympäristö on myös viime vuosina muuttunut hyvin nopeasti. Useat yritykset ovat yhdentyneet, keskittyneet ydinliiketoimintaansa ja ulkoistaneet ulkopuolisia toimintoja.

4.2.1 Toimitusketjun kuvaus ja rajaukset

Metalliteollisuustuotteiden osalta case -tutkimuksessa tarkasteltiin metallilevyjä ja -keloja, jotka valmistetaan Suomen tehtailla ja kuljetetaan asiakkaille eri puolille Eurooppaa. Pääraaka-aineet tuotteiden valmistusprosesseissa ovat rautamalmi, kalkkikivi ja kivihiili. Kuvassa 4.2 on esitetty tarkasteltu toimitusketju. Raaka-aineiden valmistus ja varastointi on rajattu laskentojen ulkopuolelle. Laskennoissa on otettu huomioon sekä raaka-aineiden kuljetukset tehtaalle että valmiiden tuotteiden kuljetukset tehtailta asiakkaille.



Kuva 4.2 Tarkastellun metallilevyjen ja -kelojen toimitusketjun kuvaus.

4.2.2 Raaka-aineiden hankinta

Rautamalmi tuodaan pääosin Ruotsista, josta se kuljetetaan junalla Ruotsin satamaan ja sieltä eteenpäin laivalla määräsatamaan Suomeen. Tuotantolaitos sijaitsee aivan sataman tuntumassa, joten raaka-aineita ei tarvitse varsinaisesti kuljettaa satamasta tehtaalle. Jonkin verran rautamalmia tulee myös Suomesta. Koksautuva kivihiili tuodaan Yhdysvalloista, Kanadasta ja Australiasta. Masuuniöljy tuotetaan Suomessa ja kalkkikivi Ruotsissa.

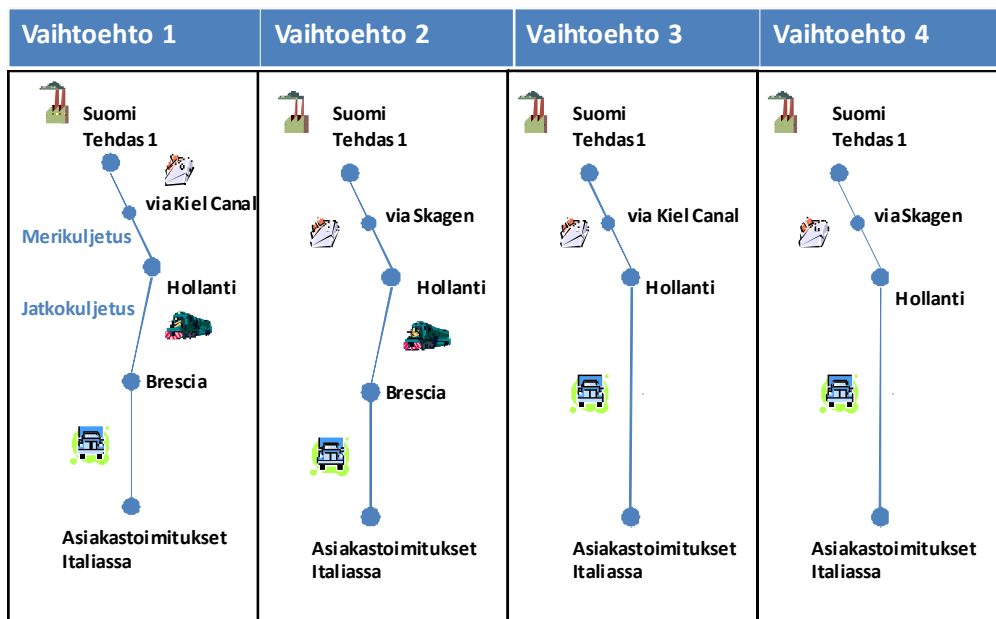
4.2.3 Tuotannon energiankulutus

Laskennoissa käytetyt tuotantoprosessien energiankulutusluvut perustuvat tarkastellun case-yrityksen energiankulutuslaskelmiin ja elinkaariarvioihin. Metallituotteiden tuotannon energiankulutusluvut ovat tuotantolaitosten keskimääräisiä energiankulutuslukuja. Tarkastelluissa toimitusketjuissa on mukana kahden eri tuotantolaitoksen toimitusketjut. Ensimmäisen tehtaan eli Italiaan, Puolaan ja Itä-Eurooppaan menevien tuotteiden osalta tuotannonenergiankulutus tehtaalla on keskimäärin 19,1 GJ tuotettua terästönna kohti. Toisen tehtaan eli Puolaan ja Venäjälle menevien tuotteiden osalta tehtaiden energiankulutus on keskimäärin 3,3 GJ terästönna kohti. Raaka-aineiden valmistusprosessissa kuluu energiaa arviolta keskimäärin 6,0 GJ tuotettua terästönna kohden.

4.2.4 Kuljetusketjujen kuvaus ja energiankulutus

Kuljetusketjut Italiaan

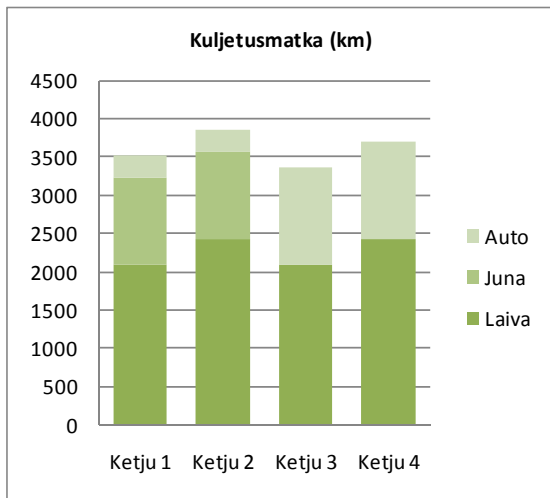
Metalliteollisuusyrityksen Italian toimitusketjuissa on neljä mahdollista kuljetusketjuvaihtoehtoa (kuva 4.3). Kaikki nämä kuljetusketjuvaihtoehdot sisältävät ensin laivakuljetuksen Suomen lastaus satamasta Hollannin välisatamaan. Kaikki toimitukset kuljetetaan siten ensin Hollantiin, josta ne jatkokuljetetaan määränpäähän asiakkaalle. Varsinaista esikuljetusta ei tarvita, sillä tuotantolaitos sijaitsee sataman läheisyydessä. Rahti kuljetetaan meritse joko Tanskan Skagenin kautta tai Kielin kanavan läpi. Kuljetusreitin valinta riippuu sääolosuhteista, toimituksen kiireellisyydestä ja polttoaineen hinnasta. Kuljetusreitin valinta tehdään joka kerta erikseen tilanteen mukaan. Kielin kanavaa käytetään lähinnä kiireellisissä toimituksissa kuljetusajan minimoimiseksi. Muissa tapauksissa suositetaan Skagenin reittiä, koska tällöin vältetään kanavasta aiheutuvat lisäkustannukset kuten kanavamaksu. Merikuljetuksia Suomesta Hollantiin on kerran viikossa. Käytössä on kaksi eri laivaa, jotka kulkevat vuoroviikoin. Hollannista tuotteet jatkokuljetetaan italialaisille asiakkaille auto- tai junakuljetuksina riippuen tuotteesta ja asiakaskohtaisista ohjeista. Kaikki junakuljetukset toimitetaan ensin Brescian terminaaliin, josta tuotteet uudelleen lastataan autoihin ja kuljetetaan edelleen asiakkaille.



Kuva 4.3 Metalliteollisuusyrityksen kuljetusketjuvaihtoehdot toimituksille Suomesta Italiaan.

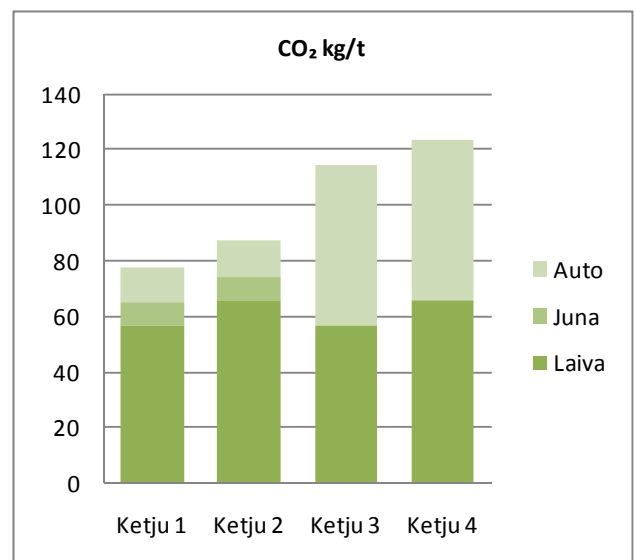
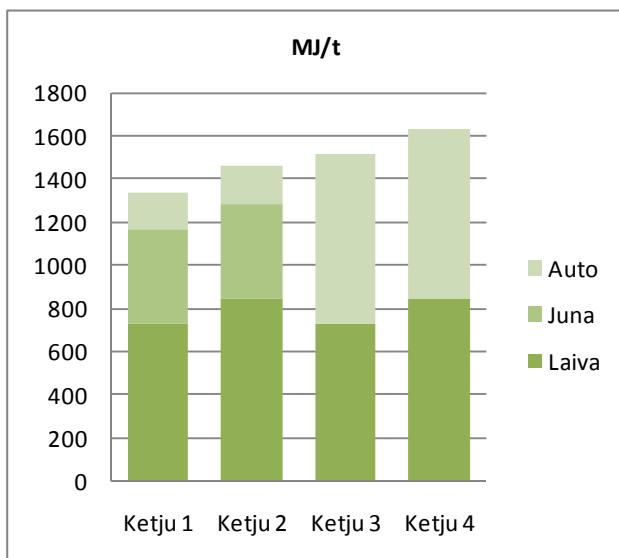
Kuvassa 4.4 on esitetty kuljetusketjujen kuljetusmatkat eri kuljetusmuodoille. Kuljetusketjujen energiankulutus ja hiilidioksidipäästöt laskettiin keskimääräisillä kuormilla tarkastellen yksittäisiä kuljetuksia toteutuneiden kokonaistonnimäärien mukaan. Tarkasteltaessa metalliteollisuusyrityksen kuljetuksia Suomesta Italiaan havaitaan, että tarkasteltavista kuljetusketjuista vaihtoehto 1 on kaikkein energiatehokkain. Kuljetusketjuvaihtoehdon 4 kokonaisenergiankulutus taas on suurin (kuva 4.5). Erot energiankulutuksessa johtuvat merikuljetusreitin valinnasta ja jatkokuljetusmuodosta Hollannista Italiaan. Merireiteistä Kielin kanavan kautta kuljettaessa energiankulutus tonnia kohden on pienempi kuin Skagenin kautta kulkevalla reitillä, sillä merimatkan on kanavaa hyödyntävällä reitillä lyhyempi. Merikuljetuksissa käytettyjen laivojen maksimilastikoot vaihtelevat 4 100 tonnista 5 350 tonniin. Käytettäessä isomman kapasiteetin laivaa myös energiankulutus

on hieman alhaisempi tuotetonna kohden verrattuna pienemmän kapasiteetin laivaan. Jatkokuljetusmuodoista juna- ja autokuljetuksen yhdistelmä on energiatehokkaampi vaihtoehto verrattuna suoraan autokuljetukseen.



Kuva 4.4 Kuljetusketjujen kuljetusmatkat

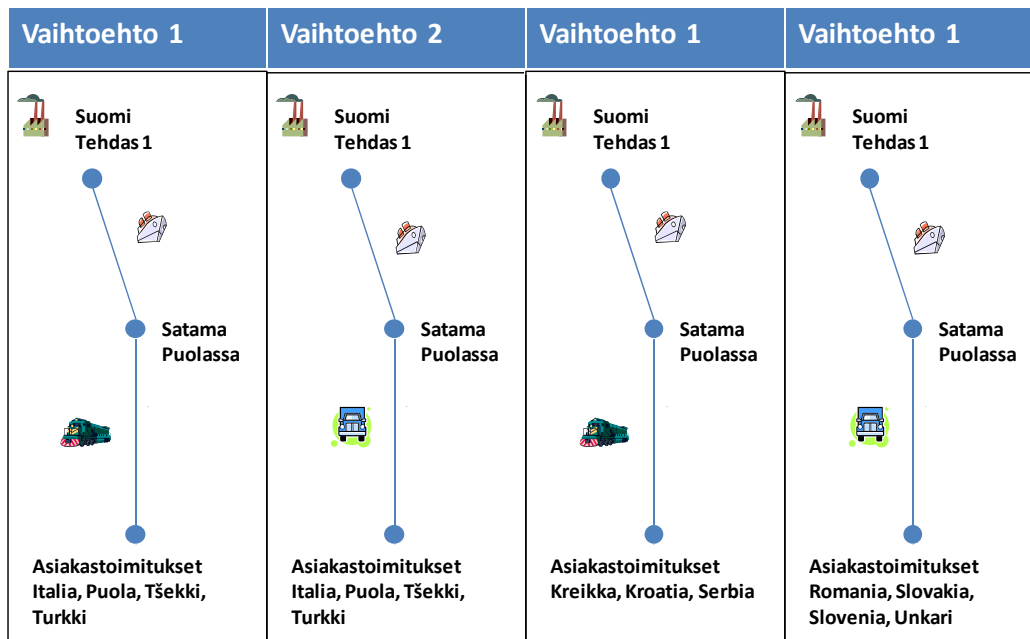
Kuljetusreitien 1 hiilidioksidipäästöt ovat pienimmät ja reitin 4 suurimmat. Hiilidioksidipäästöiltään pienimmässä ketjussa merikuljetus tehdään Kielin kanavan kautta ja tuotteet jatkokuljetetaan ensin junalla väliterminaaliin ja sieltä eteenpäin autolla asiakkaalle. Jatkokuljetusten osalta suora autokuljetus satamasta asiakkaalle aiheuttaa suuremmat hiilidioksidipäästöt verrattuna yhdistelmään, jossa tavara kuljetetaan ensin junalla väliterminaaliin ja sieltä eteenpäin autolla asiakkaalle. Kuvassa 4.5 on kuvattu hiilidioksidipäästöjen määrää kuljetusmuodoittain ketjun eri vaiheissa. Eri kuljetusmuotoja ei tässä yhteydessä voida suoraan verrata muutoin kuin jatkokuljetusten osalta, sillä matkojen pituudet ja ketjun vaiheet ovat kuljetusmuodolla erilaisia.



Kuvat 4.5 Suomesta Italiaan suuntautuvien kuljetusketjujen energiankulutus (vasen kuva) ja CO₂-päästöt (oikea kuva).

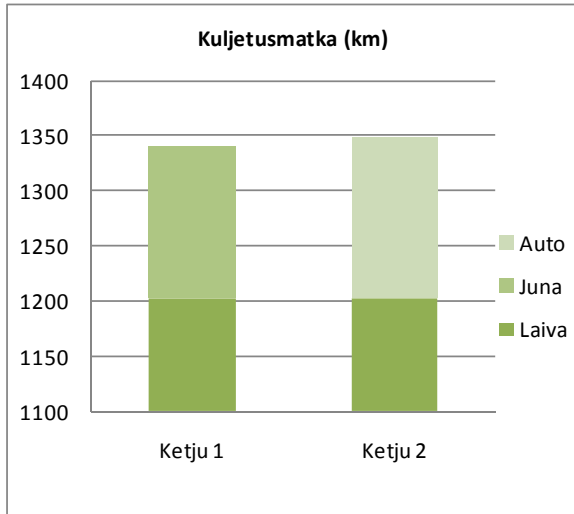
Kuljetusketjut Puolaan ja Itä-Eurooppaan

Suomesta kuljetetaan Puolan sataman kautta tuotteita asiakkaille paitsi Puolaan myös muualle Keski- ja Itä-Eurooppaan. Toimituksia Puolan sataman kautta on muun muassa Italiaan, Kreikkaan, Kroatiaan, Romaniaan, Serbiaan, Slovakiaan, Sloveniaan, Tšekkiin, Turkkiin ja Unkariin (kuva 4.6). Suomen sataman ja Puolan sataman laivakuljetukset ovat sopimusliikennepohjaisia ja toimitusfrekvenssi on joka toinen viikko. Laivojen koot vaihtelevat lastien määrien mukaan ja viimeistään kaksi viikkoa ennen laivan lähtöä varataan kutakin toimitusmäärää vastaava laiva. Puolan satamaan meneviin laivatoimituksiin yhdistetään usein myös muualle meneviä lasteja. Käytettyjen laivojen maksimilastikoot vaihtelevat 3 800 tonnista 5 800 tonniin. Asiakastoimitusten jatkokuljetus tapahtuu kohdemaasta riippuen satamasta eteenpäin joko autolla tai junalla. Italian asiakkaille tuotteet toimitetaan pääsääntöisesti junalla, autolla toimituksista on viety eteenpäin noin 10 % kaikista toimituksista. Puolan, Tšekin ja Turkin asiakkaille tuotteita on toimitettu sekä autolla että junalla. Kreikkaan, Kroatiaan ja Serbiaan jatkokuljetuksissa on käytetty junaa. Romanian, Slovakian, Slovenian ja Unkarin asiakkaille jatkokuljetusmuotona on ollut auto.

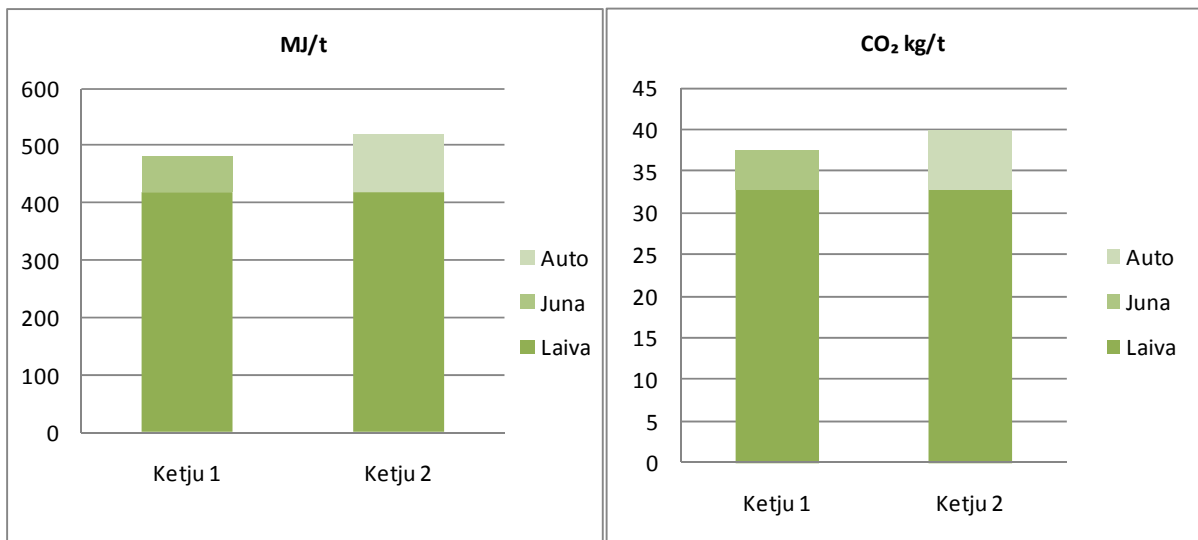


Kuva 4.6 Metalliteollisuusyrityksen kuljetusketjuvaihtoehdot toimituksille Suomesta Keski- ja Itä-Euroopan maihin.

Kuvassa 4.7 on esitetty Puolaan suuntautuvien kuljetusketjujen kuljetusmatkat ja energiankulutus. Kuljetusmatka muodostuu merikuljetusmatkasta (1 202 km) ja jatkokuljetusmatkoista (juna 138 km ja auto 147 km). Junamatkan osuuteen sisältyy sähköjunalla kuljettavaa osuutta 119 km ja dieseljunalla kuljettavaa osuutta 19 km. Energiankulutuslaskelmien perusteella ketjun 1 havaitaan olevan hieman energiatehokkaampi vaihtoehto ketjuun 2 verrattuna. Vastaavasti hiilidioksidipäästöjen osalta juna jatkokuljetusmuotona tuottaa vähemmän hiilidioksidipäästöjä kuin auto (kuva 4.8).

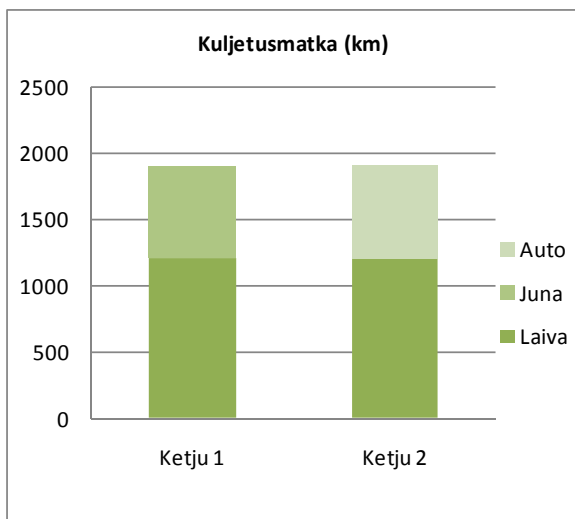


Kuva 4.7 Suomesta Puolaan suuntautuvien kuljetusketjujen kuljetusmatkat.

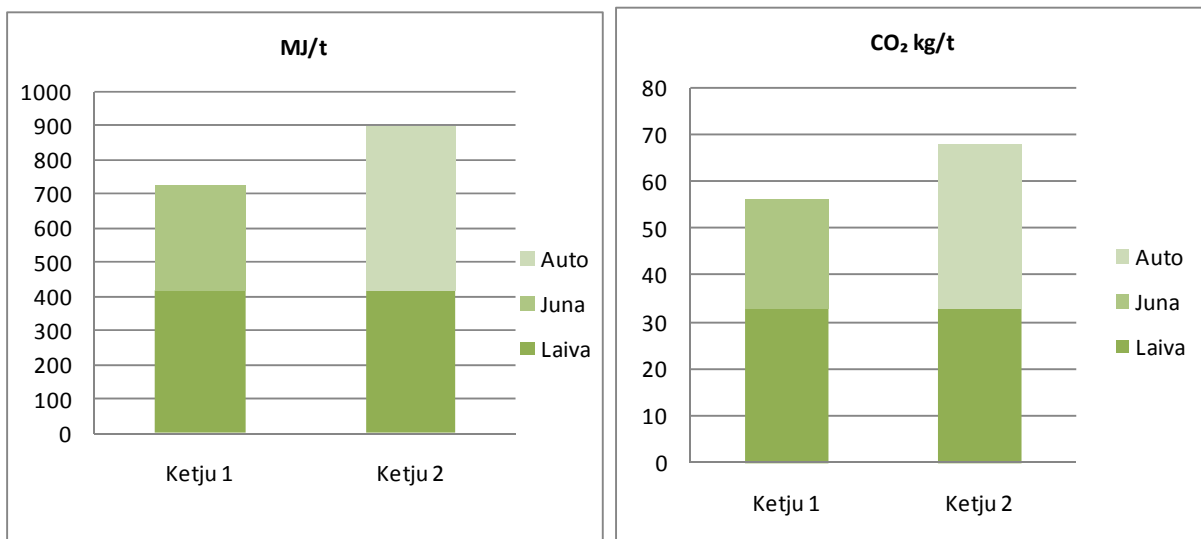


Kuva 4.8 Suomesta Puolaan suuntautuvien kuljetusketjujen energiankulutus (vasen kuva) ja CO₂-päästöt (oikea kuva).

Kuljetusketjut tšekkiläiselle asiakkaalle kuluttavat energiaa 730–900 MJ/t. Ketju 1 on energiatehokkaampi ja tuottaa myös vähemmän hiilidioksidipäästöjä kuin ketju 2. Kuljetusmatkat näissä kahdessa kuljetusketjuvaihtoehdoissa ovat lähes samat (kuva 4.9 ja 4.10).

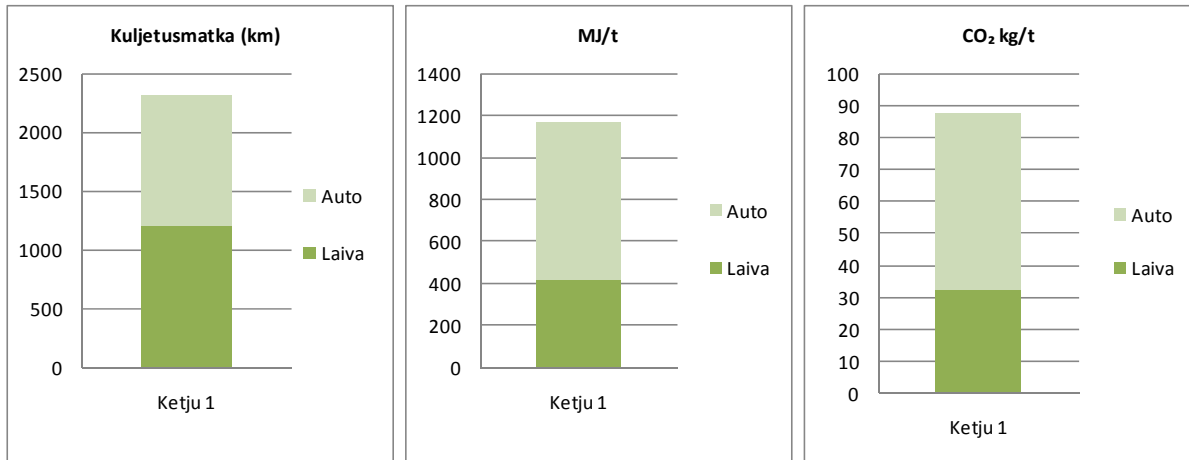


Kuva 4.9 Suomesta Tšekkiin suuntautuvien kuljetusketjujen kuljetusmatkat

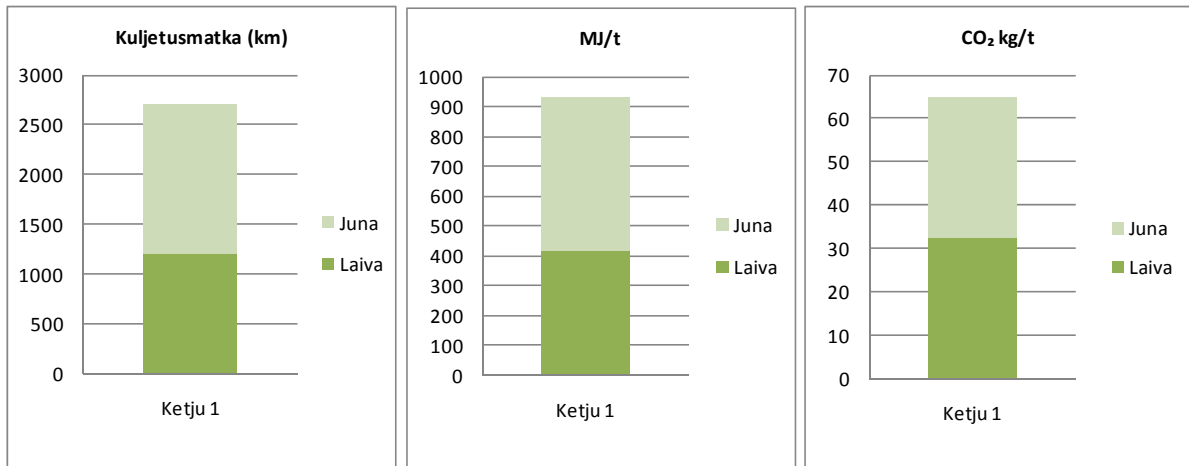


Kuva 4.10 Suomesta Tšekkiin suuntautuvien kuljetusketjujen energiankulutus (vasen kuva) ja CO₂-päästöt (oikea kuva).

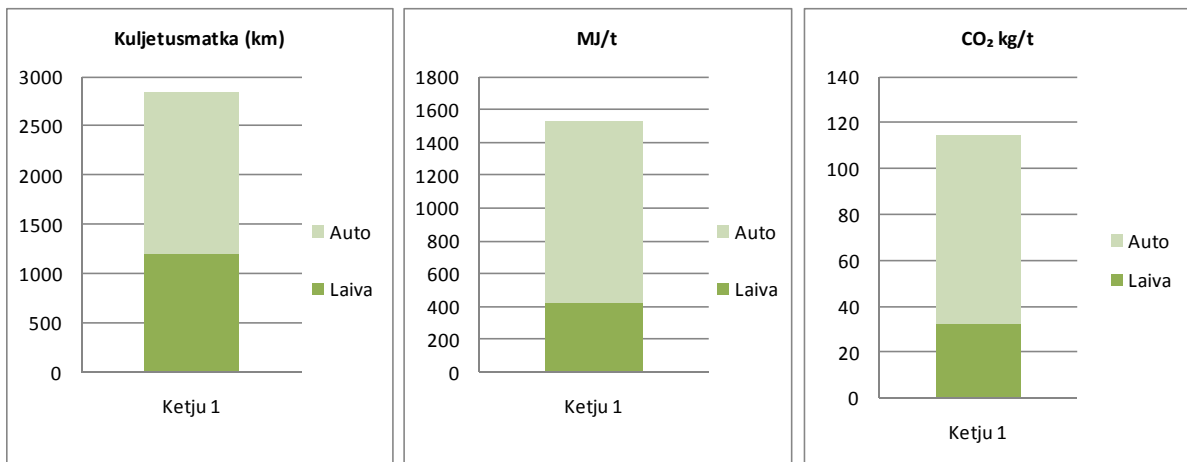
Seuraavissa kuvissa on esitetty esimerkit kuljetusketjujen kuljetusmatkasta, energiankulutuksesta ja hiilidioksidipäästöistä Unkariin, Italiaan ja Romaniaan.



Kuvat 4.11 Suomesta unkarilaiselle asiakkaalle suuntautuvan kuljetusketjun kuljetusmatka, energiankulutus ja CO₂-päästöt.

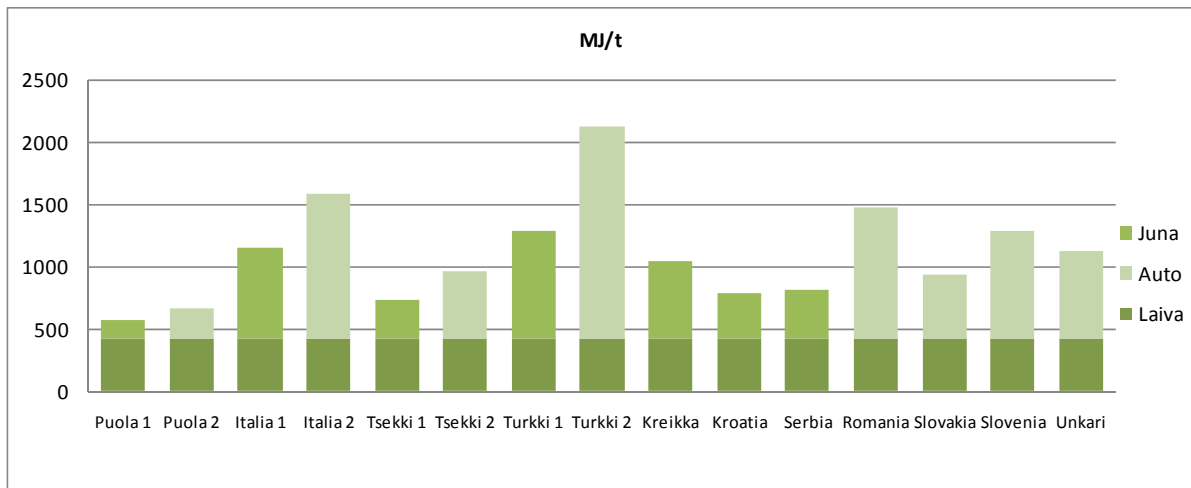


Kuvat 4.12 Suomesta italialaiselle asiakkaalle Puolan sataman kautta suuntautuvan kuljetusketjun kuljetusmatka, energiankulutus ja CO₂-päästöt.

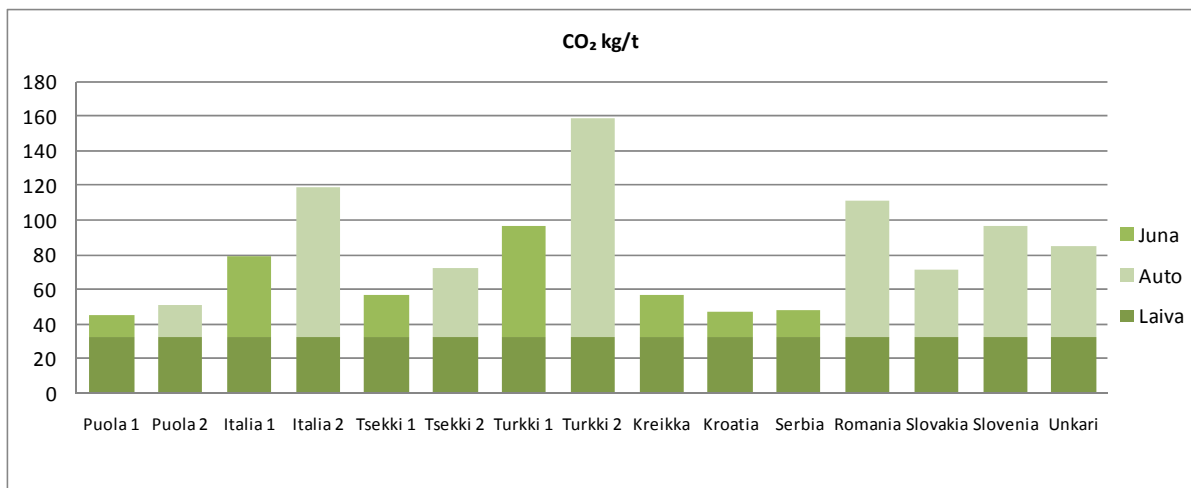


Kuvat 4.13 Suomesta romanialaiselle asiakkaalle suuntautuvan kuljetusketjun kuljetusmatka, energiankulutus ja CO₂-päästöt.

Kuvissa 4.14 ja 4.15 on esitetty energiankulutusarvot ja hiilidioksidipäästöt laskettuna painotettuna keskiarvona jokaisen maan viidelle suurimmalle asiakkaalle. Laivakuljetusosuus ja sen energiankulutus ja hiilidioksidipäästöt ovat jokaiselle markkina-alueelle samat. Erot tulevat jatkokuljetuksissa. Tuloksista havaitaan, että junakuljetus jatkokuljetusmuotona on huomattavasti autokuljetusta energiatehokkaampaa. Turkkiin, Italiaan ja Romaniaan suuntautuvat kuljetusketjut kuluttavat eniten energiaa ja Puolan asiakastoimitukset kuluttavat vähiten energiaa. Erot aiheutuvat kuljetusetäisyyksistä ja jatkokuljetusmuodoista. Kuljetusketjujen keskimääräiset hiilidioksidipäästöt ovat linjassa energiankulutusarvojen kanssa.



Kuva 4.14 Suomesta Puolan sataman kautta suuntautuvien kuljetusketjujen keskimääräinen energiankulutus.

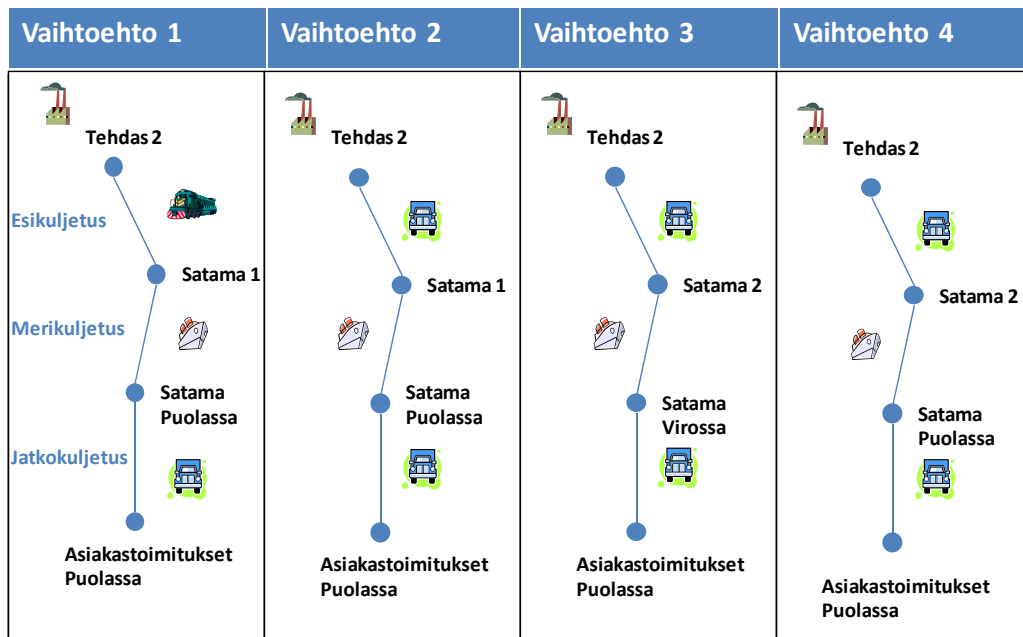


Kuva 4.15 Suomesta Puolan sataman kautta suuntautuvien kuljetusketjujen keskimääräiset CO₂-päästöt.

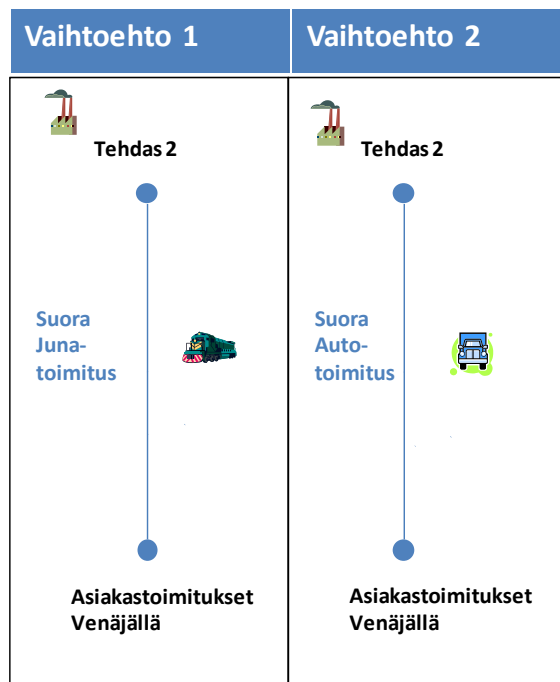
Kuljetusketjut Puolaan ja Venäjälle

Seuraavaksi tarkastellaan metalliteollisuusyrityksen toisen tehtaan kuljetusketjuja Puolaan ja Venäjälle. Suomesta tehtaalta 2 Puolaan toimitettavat metalliteollisuustuotteet kuljetetaan joko laivakuljetuksina aikarahdatuilla laivoilla tai suoraan autotoimituksina, jolloin käytetään linjalaivojen roro-aluksia (kuva 4.16). Lähtösatamia Suomen päässä on kaksi. Aikarahdatut laivat lähtevät satamasta 1 ja linjalaivat vastaavasti satamasta 2. Esikuljetusmuodot lähtösatamaan 1 ovat juna tai auto. Jatkokuljetusmuoto Puolan määräsatamasta asiakkaalle Puolassa on pääsääntöisesti auto. Tarkastelluilla toimitusketjuilla tehtaalta 2 Puolan asiakkaille on kaikkiaan neljä erilaista kuljetusketjuvaihtoehtoa. Vai-

toehdossa 1 tuotteet toimitetaan ensin junakuljetuksena lähtösatamaan, sieltä edelleen aikarahdatulla laivalla määräsatamaan Puolaan ja satamasta eteenpäin autotoimituksena asiakkaalle. Vaihtoehdossa 2 esikuljetus tapahtuu autokuljetuksena. Vaihtoehdoissa 3 ja 4 käytetään suoraa autotoimitusta, jolloin tavarat toimitetaan ensin autolla lähtösatamaan 2 ja sieltä eteenpäin roro-aluksella määräsatamaan. Vaihtoehdossa 3 auto ajetaan Baltian maiden kautta ja vaihtoehdossa 4 Puolan kautta. Venäjän asiakkaille tuotteet toimitetaan suorina auto- tai junatoimituksina (kuva 4.17). Kaikista Venäjän toimituksista noin 10 % kuljetetaan junalla ja 90 % autolla.

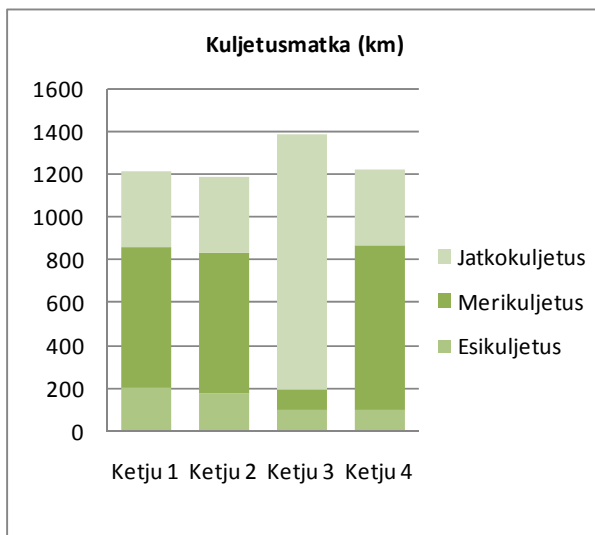


Kuva 4.16 Metalliteollisuusyrityksen kuljetusketjuvaihtoehdot toimituksille Suomesta Puolaan.

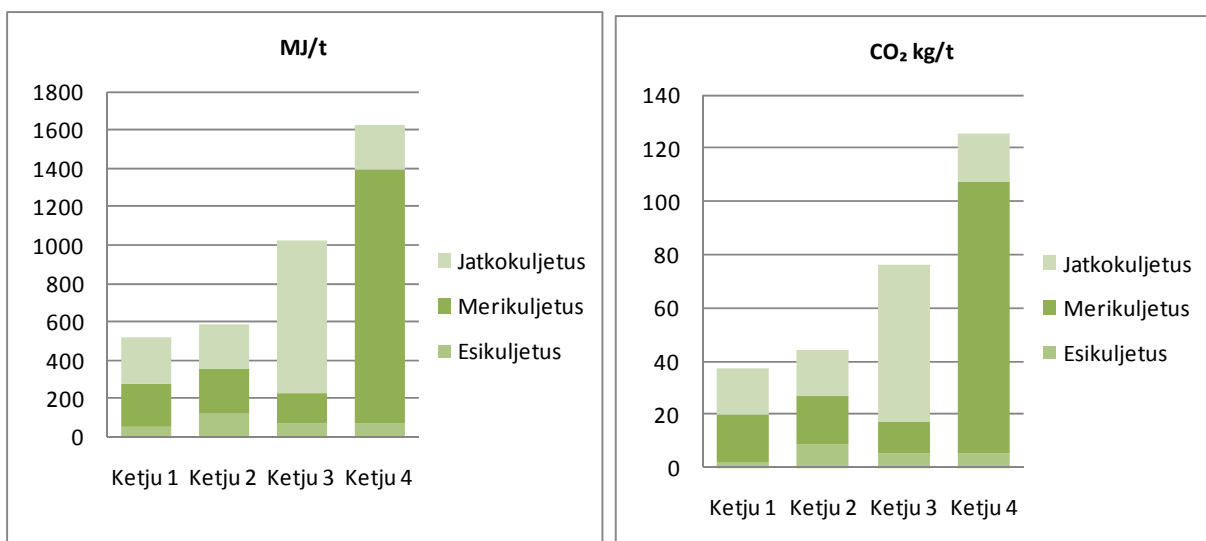


Kuva 4.17 Metalliteollisuusyrityksen kuljetusketjuvaihtoehdot toimituksille Suomesta Venäjälle.

Vertailtaessa Suomesta Puolaan suuntautuvien vaihtoehtoisten kuljetusketjujen energiankulutusta ja hiilidioksidipäästöjä havaitaan ketjujen välillä kohtalaisen suuria eroja. Ketju 1 on energiatehokkain ja ketju 4 energiaa kuluttavin. Ketjun 4 suurin energiankulutus koostuu roro-aluksen merikuljetusosuudesta Suomen satamasta Puolan satamaan. Merikuljetuksien kuljetusetäisyydet ovat lähes samat kaikissa kuljetusketjuissa. Ketjun 3 merikuljetusetäisyys on vain noin 90 km, jolloin roro-aluksen vaikutus ketjun kokonaisenergiankulutuksessa ja hiilidioksidipäästöissä on pienempi kuin maantiellä tehtävän jatkokuljetuksen vaikutus (kuva 4.18 ja 4.19).

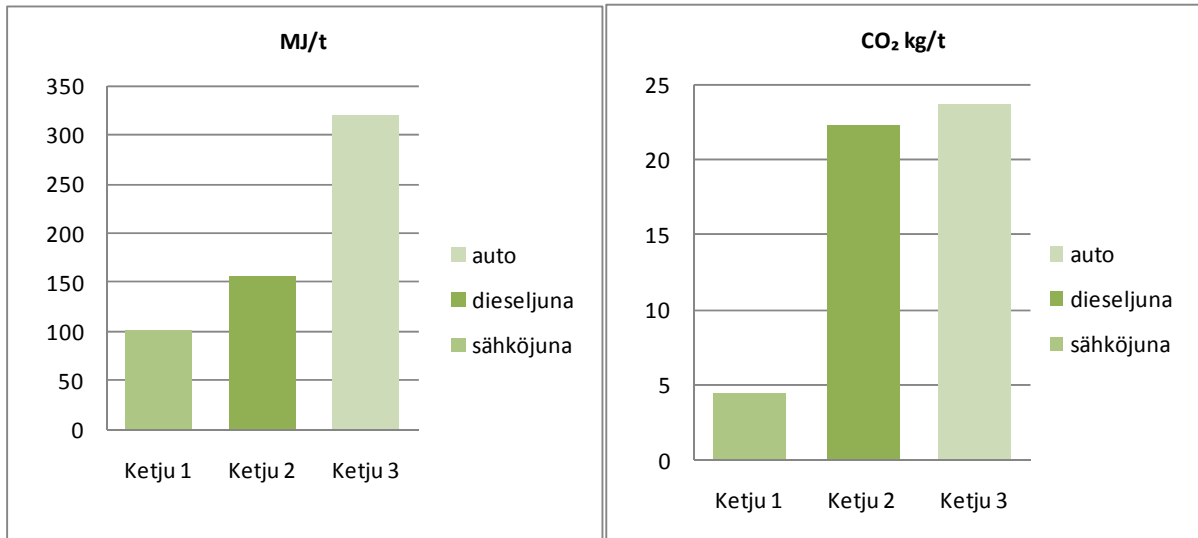


Kuvat 4.18 Suomesta Puolaan suuntautuvien kuljetusketjujen kuljetusmatka.



Kuva 4.19 Suomesta Puolaan suuntautuvien kuljetusketjujen energiankulutus (vasen kuva) ja CO₂-päästöt (oikea kuva).

Junatoimitus asiakkaalle Venäjälle on energiatehokkaampaa kuin kuorma-autokuljetus, samoin hiilidioksidipäästöjä syntyy vähemmän junalla kuljetettaessa (kuva 4.20). Laskelmissa on laskettu junakuljetus sekä dieseljunalla että sähköjunalla. Kuljetusmatka tarkastelluilla kuljetusketjuilla on keskimäärin 476 km.



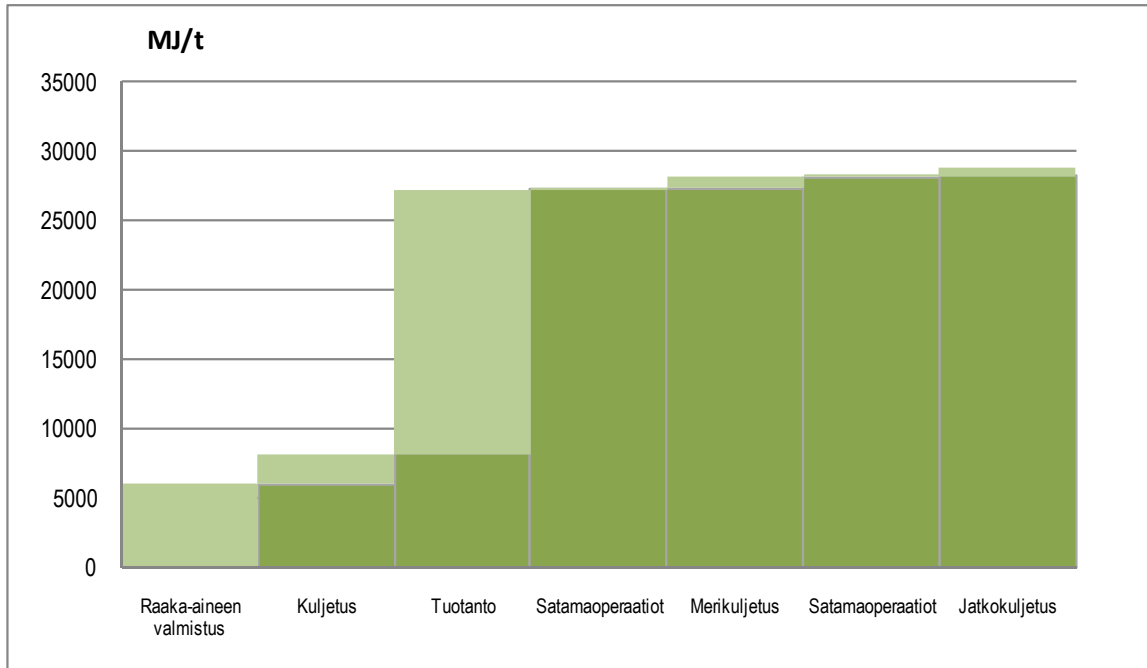
Kuva 4.20 Suomesta Venäjälle suuntautuvien kuljetusketjujen energiankulutus (vasen kuva) ja CO₂-päästöt (oikea kuva).

4.2.5 Toimitusketjujen energiatehokkuus

Tärkeä näkökulma energiatehokkuuden laskemisessa on koko toimitusketjun aikainen kokonaisenergiankulutus. Tarkastelemalla koko toimitusketjua on mahdollista inventoida eri toimitusketjun osien vaikutusta kokonaiskulutukseen ja tunnistaa energiatehokkuuden parantamisen kannalta tärkeimmät toimitusketjun vaiheet. Kokonaisenergiankulutus toimitusketjussa saadaan yhdistämällä toimitusketjun eri toimintojen energiankulutukset. Tällöin taserajan A:n mukaisesti kuljetusten lisäksi tarkastellaan myös tuotannon, sataoperaatioiden ja varastoinnin energiankulutusta. Taserajaan B mukaan otetaan myös raaka-aineiden hankinta ja raaka-aineiden kuljetusketjut. Raaka-aineiden valmistus, esimerkiksi malmin louhinta kaivoksella, ja varastointi on rajattu tämän tarkastelun ulkopuolelle.

Kuvassa 4.21 on esitetty Suomesta tehtaalta Italiaan suuntautuvan toimitusketjun 1 kuljetusketjuvaihtoehdon 2 kumulatiivinen energiankulutus alkaen raaka-aineiden valmistuksesta ja päättyen toimitukseen loppuasiakkaalle. Kuljetusketjuvaihtoehdo 2 oli tarkastelluista kuljetusketjuista Suomesta Italiaan eniten käytetty vaihtoehto, joten se valittiin koko toimitusketjun energiankulutuksen laskennassa keskimääräiseksi kuljetusketjuksi. Kuljetusmuodot kuljetusketjuvaihtoehdossa 2 ovat merikuljetus ja juna- ja autokuljetukset jatkokuljetusmuotoina.

Jokainen toimitusketjun vaihe lisää koko toimitusketjun kokonaisenergiankulutusta. Raaka-aineiden valmistuksen ja metallituotteiden tuotannon osuus kokonaisenergiakulutuksessa on merkittävä. Raaka-aineiden valmistukseen kuluu 21 % ja metallituotteiden valmistukseen 66 % kokonaisenergiankulutuksesta. Seuraavaksi eniten energiaa kuluu kuljettamiseen. Vientikuljetuksissa laivakuljetuksen osuus on suhteellisesti hieman suurempi verrattuna jatkokuljetusmuotoihin eli juna- ja autokuljetuksiin. Raaka-aineiden kuljettamisen osuus on suhteellisen suuri (8 %) johtuen raaka-aineiden pitkistä kuljetusmatkoista. Valmiiden tuotteiden kuljettamiseen kuluu energiaa kaikkiaan 5 % kokonaisenergiankulutuksesta. Tässä toimitusketjussa varastoinnin osuus kokonaisenergiankulutuksesta on pieni, sillä suurin osa käytettävistä varastoista on ulko- tai avovarastoja. Myös sataoperaatiot kuluttavat energiaa, mutta koko toimitusketjun energiankulutuksen kannalta niiden merkitys on pieni. Tarkastellun metalliteollisuustuotteiden toimitusketjun kokonaisenergiankulutus on yhteensä 28,8 GJ tuotetonna kohden.



Kuva 4.21 Suomesta Italiaan kuljetettavien metalliteollisuustuotteiden taserajan B mukainen toimitusketjun kumulatiivinen energiankulutus. Kuva esittää kunkin toimitusketjun osavaiheen vaikutuksen kumulatiiviseen energiankulutukseen.

Taulukkoon 4.1 ja 4.2 on koottu Suomesta tehtaalta 1 Puolan sataman kautta Euroopan maihin suuntautuvien toimitusketjujen keskimääräiset energiankulutukset sekä esimerkki Hollannin sataman kautta Italiaan toimitettavien tuotteiden toimitusketjujen energiankulutuksista. Tarkasteluun on otettu mukaan tärkeimmät asiakkaat. Kokonaisenergiankulutus eri maihin suuntautuvilla toimitusketjuilla on melko samansuuruinen ja erot syntyvät lähinnä jatkokuljetusten energiankulutuksesta. Kuljetusetäisyyksistä johtuen Puolan sataman kautta kulkevista toimitusketjuista eniten energiaa kuluu Turkkiin ja vähiten Puolaan suuntautuvissa ketjuissa.

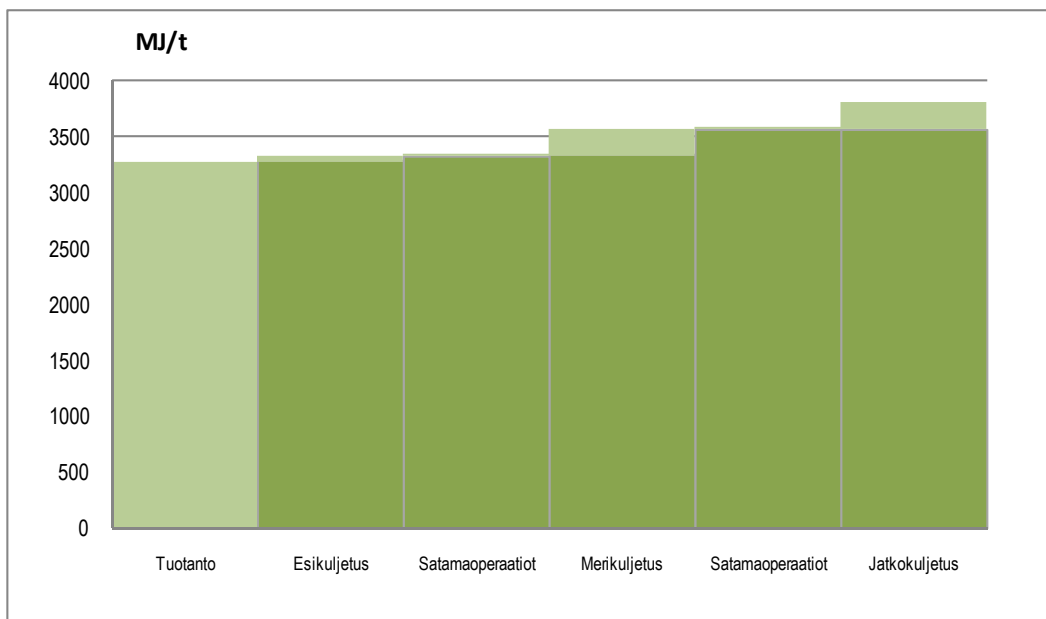
Taulukko 4.1 Kumulatiivinen toimitusketjun energiankulutus markkina-alueittain, kun jatkokuljetus tehdään junalla.

Raaka-aineen valmistus	6 000								
Raaka-aineen kuljetus	2 179								
Tuotanto	19 070								
Satamaoperaatiot	3								
Merikuljetus	Hollanti Kiel Canal	Hollanti Skagen	Puola						
	729	849	420						
Satamaoperaatiot	3								
Jatkokuljetus	Italia	Italia	Puola	Italia	Tsekki	Turkki	Kreikka	Kroatia	Serbia
juna	612	612	157	727	320	867	620	373	394
Yhteensä	28 595	28 715	27 831	28 401	27 994	28 541	28 294	28 047	28 068

Taulukko 4.2 Kumulatiivinen toimitusketjun energiankulutus markkina-alueittain, kun jatkokuljetus tehdään kuorma-autolla.

Raaka-aineen valmistus		6 000									
Raaka-aineen kuljetus		2 179									
Tuotanto		19 070									
Satamaoperaatiot		3									
Merikuljetus		Hollanti	Hollanti	Puola							
		Kiel Canal	Skagen								
		729	849	420							
Satamaoperaatiot		3									
Jatkokuljetus		Italia	Italia	Puola	Italia	Tsekki	Turkki	Romania	Slovakia	Slovenia	Unkari
auto		785	785	246	1 164	543	1 706	1 058	521	862	702
Yhteensä		28 766	28 886	27 920	28 838	28 217	29 380	28 732	28 195	28 536	28 376

Kuvassa 4.22 on esitetty Suomesta tehtaalta 2 Puolaan suuntautuvan toimitusketjun kumulatiivinen energiankulutus taserajalla A, joka kattaa tuotannon ja lähtölogistiikan. Toimitusketjun tarkastelun kohteena on tässä Suomen ja Puolan välisistä kuljetusketjuvaihtoehtoista energiatehokkain vaihtoehto, joka on kuljetusketju 1. Tässä kuljetusketjussa esikuljetuksena tehtaalta satamaan on juna ja jatkokuljetuksena määräsatamasta asiakkaalle kuorma-auto. Merikuljetukset tehdään irtolastialuksella. Tuotannon osuus koko toimitusketjun kokonaisenergiankulutuksesta on noin 86 %, satamaoperaatioiden 0,2 % ja kuljetusten 14 %. Raaka-aineet ja jatkojalostettavat tuotteet tulevat tehtaalle 2 tehtaalta 1, jolloin tehtaalla 2 toimitusketju linkittyy tehtaalla 1 toimitusketjuun.

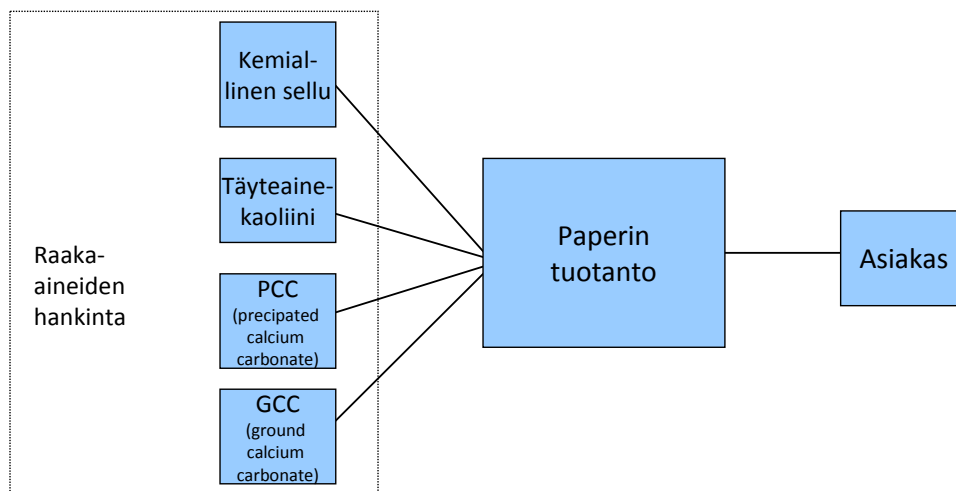


Kuva 4.22 Taserajan A mukainen toimitusketjun kumulatiivinen energiankulutus kuljetusketjuvaihtoehdolle 1 Suomesta Puolaan. Kuva esittää kunkin toimitusketjun osavaiheen vaikutuksen kumulatiiviseen energiankulutukseen.

4.3 Paperituotteiden toimitusketjujen energiatehokkuus

4.3.1 Toimitusketjun kuvaus ja rajaukset

Tarkasteltujen paperituotteiden, paperituotteen 1 ja paperituotteen 2, pääraaka-aineita ovat sellu ja pigmentit, joita ovat täyteainekaoliini sekä kalsiumkarbonaatit PCC ja GCC. Tarkastellun toimitusketjun kuvaus ja taseraja kuvassa 4.23 sisältää sellun tuotannon, mutta puun hankinta ja raakapuukuljetukset sellutehtaalle on rajattu tarkastelun ulkopuolelle. Vastaavasti täyteainekaoliinin ja pigmenttien valmistus on mukana tarkastelussa, mutta niiden raaka-aineiden tuotanto ja kuljetukset ennen valmistusta on rajattu pois. Raaka-aineista pigmenttien valmistus on kaikkein energiasäästöisintä ja sellun valmistus puolestaan lähes omavaraista. Laskelmista on rajattu pois myös raaka-aineiden varastointi. Laskelmissa tarkastellaan paperituotteiden vientikuljetusketjuja Suomen tehtailta Iso-Britanniaan.



Kuva 4.23 Tarkasteltujen paperin toimitusketjujen kuvaus.

4.3.2 Raaka-aineiden hankinta

Sellu kuljetetaan Suomesta kahdelta eri paikkakunnalta junalla paperituotteen 1 tehtaalle. Paperituotteen 2 tuotannossa käytettävä sellu kuljetetaan paperitehtaan omalta sellutehtaalta putkikuljetuksena. Myös PCC:tä kuljetetaan putkikuljetuksena paperituotetta 2 valmistavalle tehtaalle. Putkikuljetusten energiankulutusta ei tässä tutkimuksessa ole otettu huomioon. Paperituotteen 1 tuotantoyksikköön PCC tuodaan kuorma-autokuljetuksina Suomesta. Täyteainekaoliini tuodaan Iso-Britanniasta, josta raaka-aine kuljetetaan meritse määräsatamaan Suomeen. Esikuljetusmuotona Iso-Britanniassa on juna- ja autokuljetus. Suomessa täyteainekaoliini kuljetetaan määräsatamasta junalla paperitehtaalle. Päälystys-GCC valmistetaan Suomessa ja kuljetetaan paperitehtaille tiekuljetuksina.

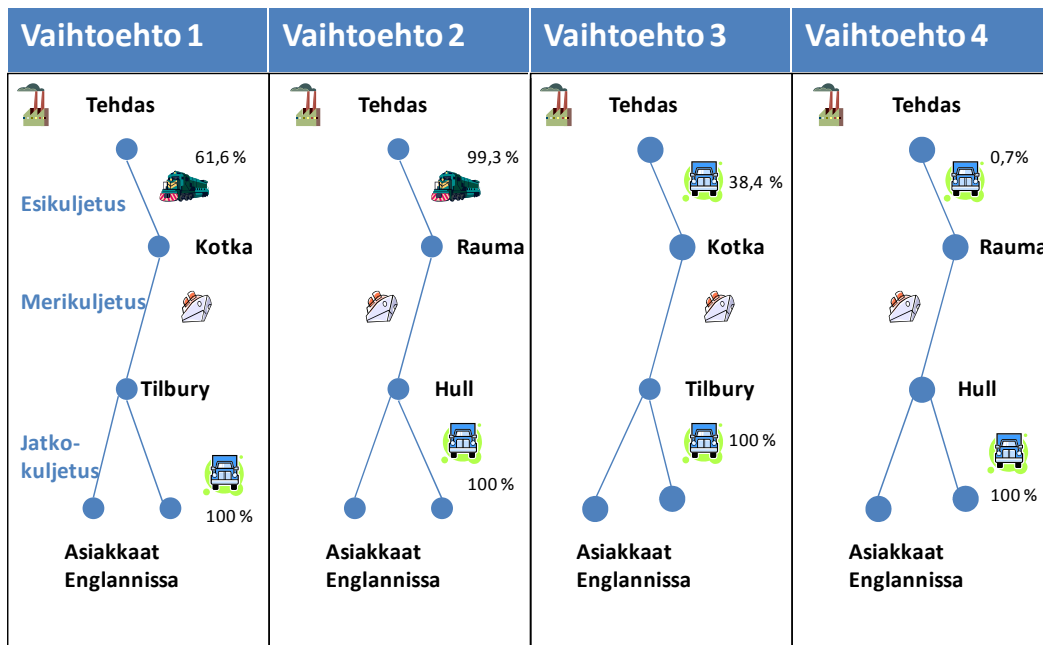
4.3.3 Tuotannon energiankulutus

Raaka-aineiden valmistuksen ja papereiden tuotannon keskimääräiset energiankulutusluvut perustuvat kirjallisuudessa esiintyneisiin arvoihin ja edustavat energiatehokkuudeltaan kehittyneiden tuotantolinjojen keskimääräistä kulutusta. Energiankulutusluvut sisältävät myös tuotantoprosessin aikana kuluvan ostetun sähkön. Raaka-aineiden energiankulutusluvuksi arvioitiin 1,8 GJ tuotettua paperitonnia kohti ja tuotannon energiankulutukseksi keskimäärin 5,9 GJ tuotettua paperitonnia kohti.

4.3.4 Kuljetusketjujen kuvaus ja energiankulutus

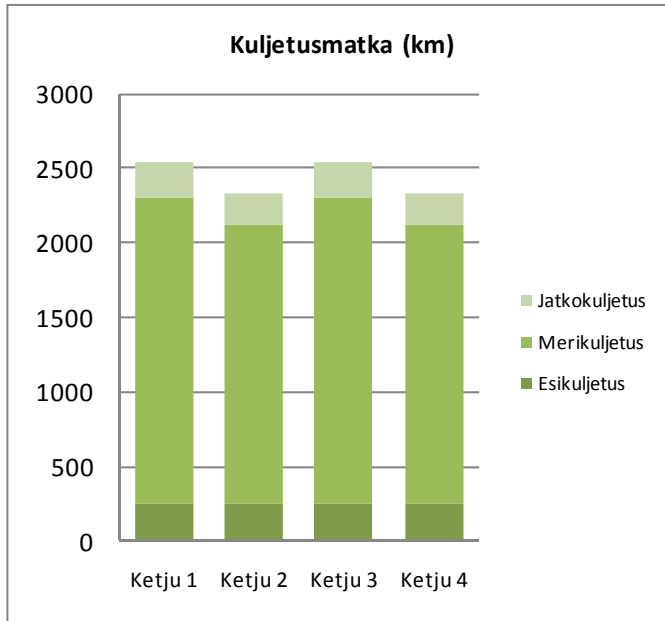
Paperituotteen 1 kuljetusketjut Iso-Britanniaan

Metsäteollisuusyrityksen osalta tarkastellaan tuotteen vientiketjuja Suomesta Iso-Britanniaan. Tarkastelluissa toimitusketjuissa paperituotteen 1 tehtaalta Iso-Britanniaan suuntautuviissa toimituksissa on yhteensä neljä kuljetusreittivaihtoehtoa (kuva 4.24). Kuljetusketjut muodostuvat esikuljetuksista tehtaalta lähtösatamiin, merikuljetuksesta tulosatamaan ja jatkokuljetuksista määränpäähän. Esikuljetukset tehtaalta lähtösatamiin ovat joko junakuljetuksia tai autokuljetuksia. Junakuljetuksia on suhteellisesti enemmän verrattuna autokuljetuksiin. Junalla kuljetetaan kaikkiaan 62 % tai 99 % kuljetuksista riippuen lähtösatamasta. Metsäteollisuusyrityksellä on kaksi lähtösatamaa Suomessa ja kaksi tulosatamaa Iso-Britanniassa. Jatkokuljetukset asiakkaalle ovat Iso-Britanniassa pääsääntöisesti kuorma-autokuljetuksia. Jatkokuljetuksien osalta laskelmissa on laskettu kaikkien asiakastoimitusten keskimääräinen energiankulutus ja hiilidioksidipäästöt.

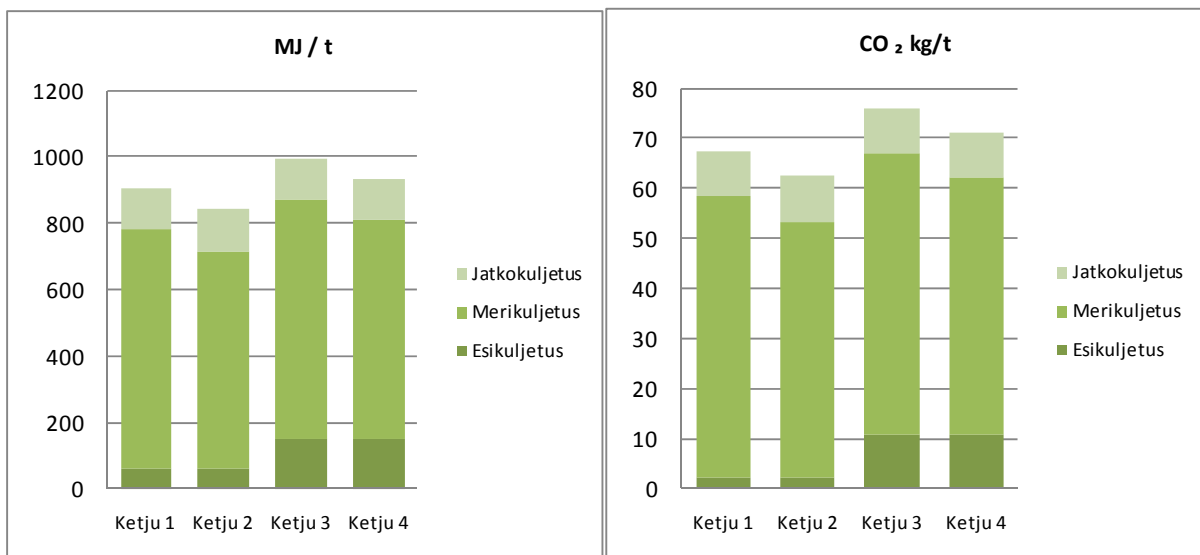


Kuva 4.24 Metsäteollisuusyrityksen kuljetusketjuvaihtoehdot paperituotteen 1 toimituksille Suomesta Iso-Britanniaan.

Kuvassa 4.25 on kuvattu eri kuljetusketjujen kuljetusmatkaa ja kuvassa 4.26 kuljetusketjujen energiankulutusta ja hiilidioksidipäästöjä. Kuljetusketjuvaihtoehto 2 kuluttaa vähiten energiaa ja vaihtoehto 3 eniten. Esikuljetuksista juna on energiatehokkain vaihtoehto. Tarkasteltaessa eri kuljetusmuotojen energiankulutusta havaitaan, että kotimaan esikuljetuksissa junakuljetukset ovat hieman tehokkaampia verrattuna kuorma-autokuljetuksiin, joissa energiaa kuluu tuotetonnia kohden enemmän. Merikuljetusten osuus koko ketjun energiankulutuksesta on suurin, sillä merikuljetukset ovat suhteellisen pitkiä. Kahden eri merikuljetusreitin välillä energiankulutuksessa on pieni ero, joka johtuu lähtö- ja tulosatamien sijainnista. Kuljetusketjujen hiilidioksidipäästöjen erot ovat samansuuntaisia kuin energiankulutuksen. Vähiten hiilidioksidipäästöjä syntyy vaihtoehdossa 2 ja eniten vaihtoehdossa 3.



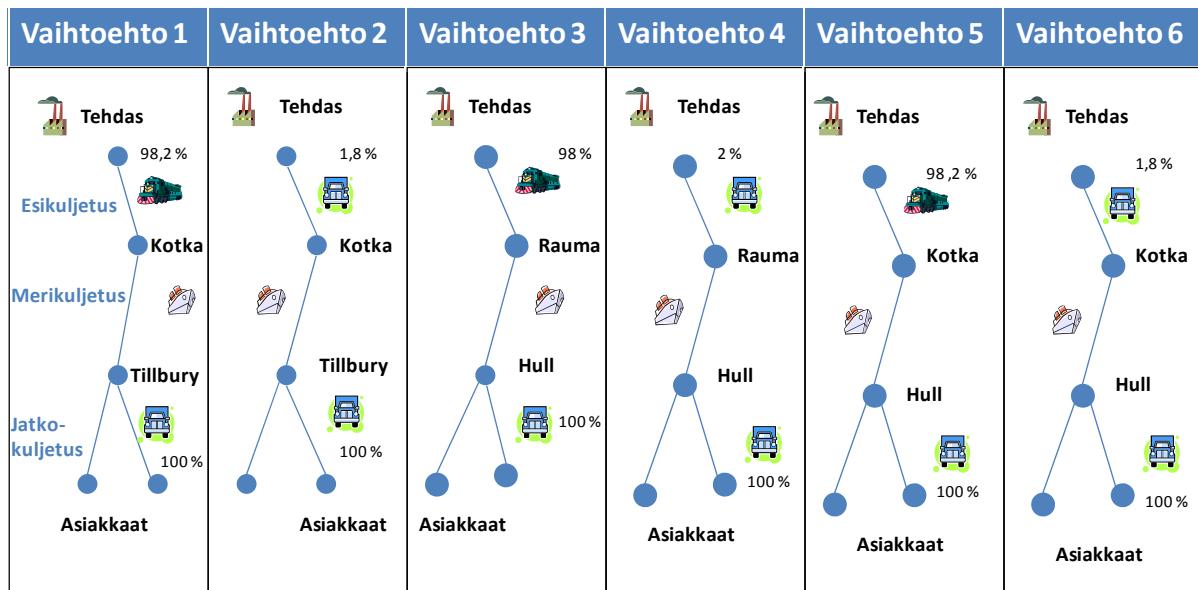
Kuva 4.25 Kuljetusmatkat kuljetusketjuissa Suomesta Iso-Britanniaan.



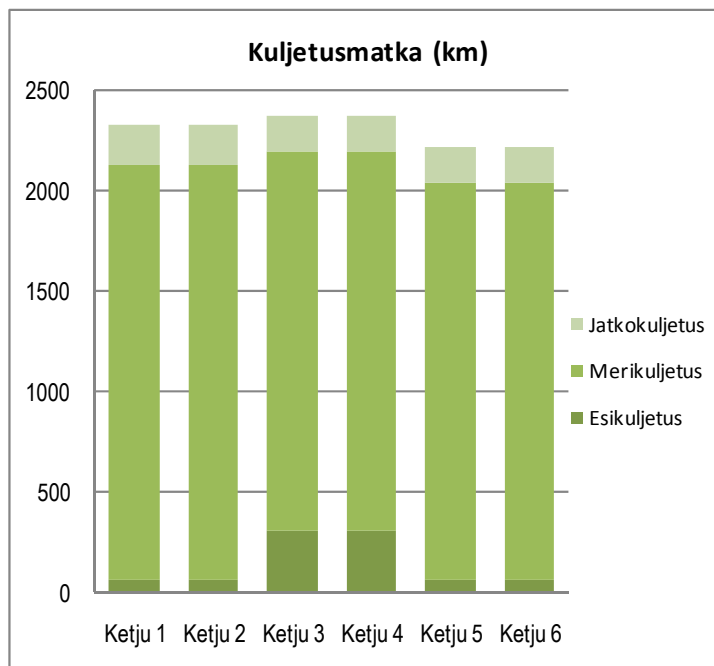
Kuva 4.26 Energiankulutus (vasen kuva) ja CO₂-päästöt (oikea kuva) kuljetusketjuissa Suomesta Iso-Britanniaan.

Paperituotteen 2 kuljetusketjut Iso-Britanniaan

Paperituotteen 2 toimituksissa Iso-Britannian asiakkaille on kaiken kaikkiaan kuusi eri kuljetusketjuvaihtoehtoa. Esikuljetusmuodot kahteen eri lähtösatamaan ovat kuorma-auto ja juna. Juna osuus esikuljetusmuotona on keskimäärin 98 %. Englannissa on kaksi määräsatamaa ja tuotteet kuljetetaan asiakkaille kuorma-autoilla. Kuvassa 4.27 on esitetty eri kuljetusketjuvaihtoehdot paperituotteen 2 toimituksille.

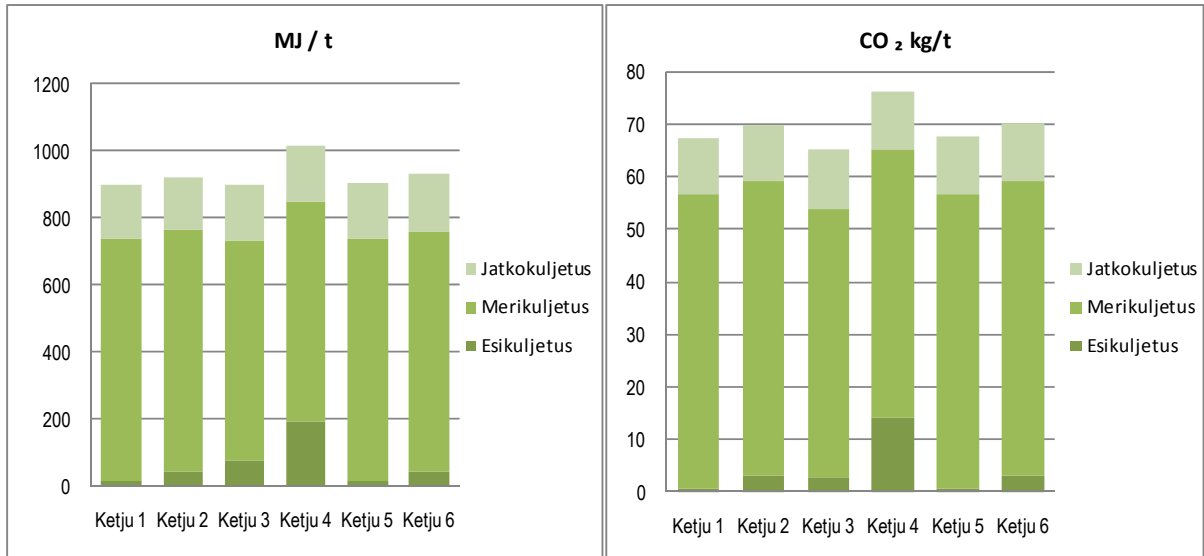


Kuva 4.27 Metsäteollisuusyrityksen kuljetusketjuvaihtoehdot paperituotteen 2 toimitukselle Suomesta Iso-Britanniaan.



Kuva 4.28 Kuljetusmatka paperituotteen 2 kuljetusketjuissa Suomesta Iso-Britanniaan.

Kuvassa 4.29 on kuvattuna eri kuljetusreittien energiankulutus ja hiilidioksidipäästöt Suomesta Iso-Britanniaan sekä eri kuljetusmuotojen osuus energiankulutuksesta ja päästöistä. Toimitusketjuvaihtoehto 1 kuluttaa vähiten energiaa ja vaihtoehto 4 eniten. Kuljetusketjujen energiankulutukset ovat hyvin samansuuruisia. Kotimaan esikuljetuksissa junakuljetukset ovat hieman energiatehokkaampia verrattuna kuorma-autokuljetuksiin, joissa energiaa kuluu tuotetonnia kohden enemmän. Erot eri kuljetusketjujen välillä ovat verrattain pieniä, mutta kuljetusmuoto- ja reittivalinnoilla voidaan kuitenkin vaikuttaa hiilidioksidipäästöjen määrään. Vähiten hiilidioksidipäästöjä syntyy vaihtoehdossa 3 ja eniten vaihtoehdossa 4.

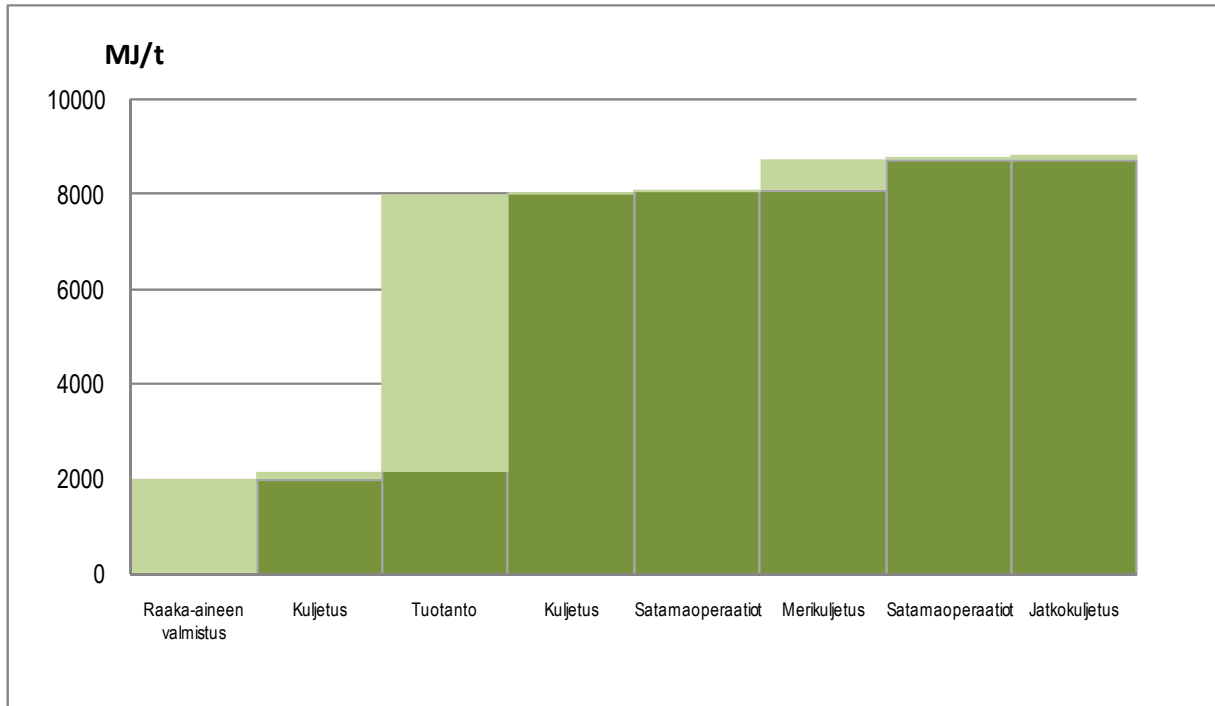


Kuva 4.29 Energiankulutus (vasen kuva) ja CO₂-päästöt (oikea kuva) kuljetusketjuissa Suomesta Iso-Britanniaan.

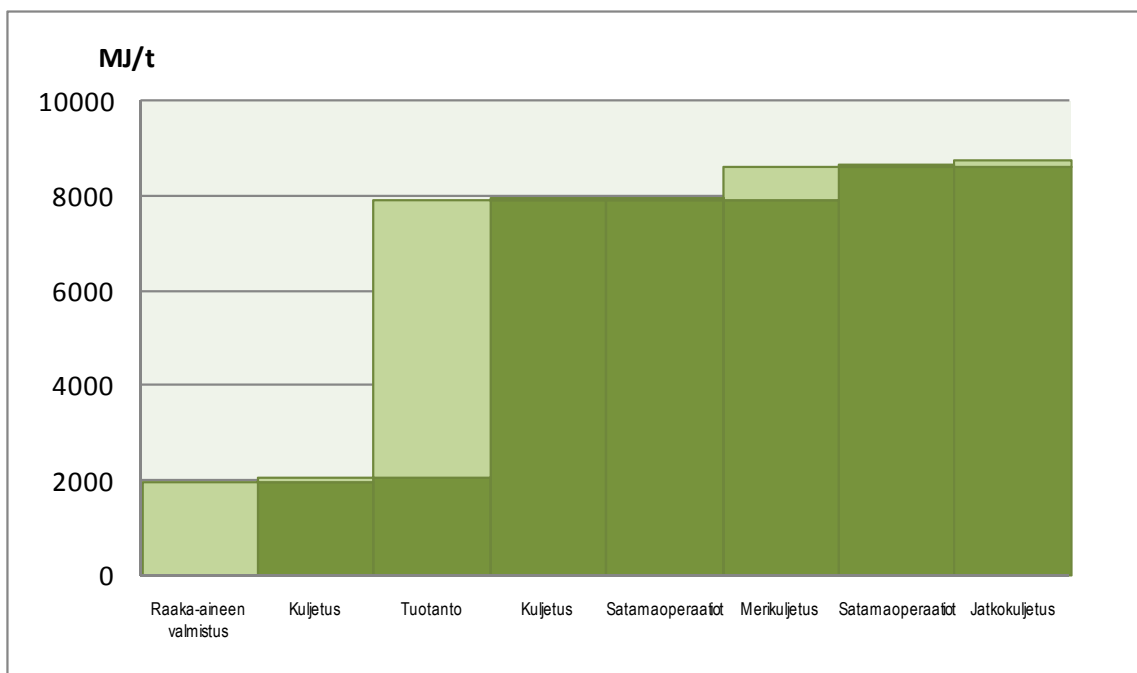
4.3.5 Toimitusketjujen energiatehokkuus

Kokonaisenergiankulutuksen tarkastelu koko toimitusketjussa raaka-aineiden valmistuksesta jakeluun loppuasiakkaalle osoittaa, että myös kuljetuksilla on tärkeä merkitys energiankulutuksen kannalta, vaikka tuotantovaiheessa kuluukin valtaosa energiasta. Kuva 4.30 esittää kumulatiivista kokonaisenergiankulutusta paperituotteen 1 toimitusketjussa. Toimitusketjutarkasteluun on otettu mukaan kuljetusketjuvaihtoehto 2, koska se oli Suomesta Englantiin suuntautuvista vaihtoehdoista energiatehokkain. Kuljetusmuodot tässä kuljetusketjussa ovat junakuljetus esikuljetusmuotona, merikuljetus ja kuorma-autokuljetus jatkokuljetusmuotona. Raaka-aineiden valmistukseen kuluu 21 % ja paperin tuotantoon 68 % kokonaisenergiankulutuksesta. Raaka-aineiden kuljetusoperaatiot kuluttavat energiaa 2 % ja valmiiden tuotteiden kuljetukset yhteensä 10 % kokonaisenergiankulutuksesta. Satama- ja terminaalioperaatioiden energiankulutus tässä toimitusketjussa on erittäin pieni. Kokonaisenergiankulutus tarkastellussa toimitusketjussa on 8,7 GJ tuotettua paperitonnia kohden.

Kuva 4.31 esittää vastaavasti kumulatiivista kokonaisenergiankulutusta paperituotteen 2 toimitusketjussa. Koko toimitusketjun tarkasteluun on tässä otettu mukaan kuljetusvaihtoehto 5, koska se on yleisin paperituotteen 2 kuljetusketju tarkastellussa yrityksessä. Tässä kuljetusketjussa esikuljetusmuotona on junakuljetus, runkokuljetus tehdään meritse ja jatkokuljetusmuotona on kuorma-autokuljetus. Raaka-aineiden valmistukseen kuluu noin 22 % ja paperin tuotantoon noin 66 % kokonaisenergiankulutuksesta. Raaka-aineiden kuljetus kuluttaa energiaa 0,6 % ja valmiiden tuotteiden kuljetukset, sisältäen kuljetuksen satamaan, merikuljetuksen ja jatkokuljetuksen, kuluttavat energiaa yhteensä noin 10 % kokonaisenergiankulutuksesta. Kokonaisenergiankulutus on tässä toimitusketjussa 8,8 GJ tuotettua paperitonnia kohden.



Kuva 4.30 Tarkastellun paperituotteen 1 toimitusketjun kumulatiivinen energiankulutus (MJ/tuotettu paperitonni). Kuva esittää kunkin toimitusketjun osavaiheen vaikutuksen kumulatiiviseen energiankulutukseen.



Kuva 4.31 Tarkastellun paperituotteen 2 toimitusketjun kumulatiivinen energiankulutus (MJ/tuotettu paperitonni). Kuva esittää kunkin toimitusketjun osavaiheen vaikutuksen kumulatiiviseen energiankulutukseen.

5. Yhteenveto ja päätelmät

Energiatehokkuus logistiikassa

Energiatehokkuuden kehittämiseksi on Suomessa asetettu monia kansallisia tavoitteita, jotka perustuvat kansainvälisiin sopimuksiin energiatehokkuuden parantamisesta. Logistiikan energiatehokkuutta on yleisesti totuttu mittaamaan kuljetusten energiatehokkuuden kautta. Koko toimitusketjun tarkastelu kuljetusketjujen sijasta laajentaa näkökulmaa, sillä se tuo laskennan taserajaan mukaan myös tuotannon ja raaka-aineiden valmistuksen ja hankinnan, jolloin toimitusketju sisältää kaikki osavaiheet raaka-aineiden hankinnasta tuotteen kuljetukseen asiakkaalle.

Yritysten liiketoimintaympäristö on muuttunut nopeasti ja logististen prosessien hallinnasta on tullut globaaleille markkinoilla toimiville yrityksille entistä tärkeämpi kilpailukeino. Hankinta- ja markkina-alueiden laajeneminen on osaltaan lisännyt kuljetustarvetta ja sitä kautta lisännyt kuljetusten energiankulutusta. Tavaraliikenteen energiankulutuksen onkin ennakoitu kasvavan nopeasti myös tulevien vuosikymmenten aikana. Koska tavaraliikenne sisältyy tuotannollisen toiminnan toimitusketjuihin, tavaraliikennettä ja kuljetuskysyntää tulisikin ensisijaisesti tarkastella tuotannollisen toiminnan ja kaupan osana, eikä niinkään erillisenä energiaa kuluttavana toimialana.

Energiatehokkuutta ei vielä yleisesti käytetä logistiikassa varsinaisena mittarina, mutta energiatehokkuuden merkitys logistiikassa on kasvamassa muun muassa globalisaation kasvun ja ilmastomuutoksen tuomien energiatehokkuustavoitteiden myötä. Parempi energiatehokkuus nähdään myös kilpailutekijänä, vaikka asiakas- ja energiatehokkuusvaatimusten yhteensovittaminen globaalissa logistisessa verkostossa on haasteellista. Logistiikan energiatehokkuuden parantamisen kautta voidaan vaikuttaa sekä ympäristövaikutuksiin että kustannustehokkuuteen. Logistiikan energiatehokkuuden tarkasteluissa korostuu usein kuljetusten osuus ja niiden aiheuttamat päästöt. Kokonaisuuden kannalta on kuitenkin tärkeää, että energiatehokkuuslaskelmissa otetaan huomioon kuljetusten lisäksi myös muut toimitusketjun toiminnot hankinnasta aina asiakkaalle asti.

Energiatehokkuuden taserajat logistiikassa

Energiatehokkuuden kokonaisvaltainen mittaaminen edellyttää, että käytössä on yhteinen eri toimialoille soveltuva mittaristo. Energiankulutuksen laskenta ei ole täysin yksiselitteistä, vaikka primäärienergiankulutus olisikin usein määritettävissä. Energiatehokkuuden arviointi edellyttää laskennan taserajojen määrittämistä, jotta laskentaan sisältyisivät kaikki prosessin kannalta olennaiset vaiheet. Taserajojen määrittely on erityisen tärkeää silloin, kun tarkastellaan samanaikaisesti useita energiaa kuluttavia sektoreita, sillä sektorit ja niiden erilaiset toiminnot ovat useimmiten osittain päällekkäisiä. Taserajojen myötä on mahdollista välttyä siltä, että jokin prosessi tulee laskentaan useita kertoja, tai että jokin prosessi jää kokonaan laskennan ulkopuolelle. Lisäksi taserajat mahdollistavat eri sektoreiden vertailun.

Energiatehokkuutta on yleensä totuttu mittaamaan tuotantoprosessikohtaisesti, jossa rajaudutaan yleensä yhteen teollisuuslaitokseen. Logistiikan energiatehokkuuden mittaamisessa huomioon otetaan koko toimitusketju, jolloin mukaan tulevat myös muut logistiikan osatekijät.

Teollisuusyritykset tarkastelevat logistiikan energiatehokkuutta tyypillisimmin taserajalla, joka kattaa tuotannon ja lähtölogistiikan. Monet vakiintuneet käytännöt, kuten päästökauppa ja laskentaa ohjaavat standardit, rajaavat energiatehokkuustarkastelut ja hiilijalanjäljen laskennan tuotantoprosessiin. Tällöin lähtölogistiikkaan kohdistettuja energiatehokkuustoimia ei ole käytännössä edes mahdollista ottaa huomioon esimerkiksi osana

päästökauppaa. Lähtölogistiikka on tuotannollisissa yrityksissä useimmiten osittain tai kokonaan ulkoistettu, mikä osaltaan raja yritysten kiinnostusta ja vaikutusmahdollisuutta logistiikan energiatehokkuuden kehittämiseen.

Energiatehokkuuden määritelmää olisi mahdollisuuksien mukaan toimitusketjujen tarkastelussa laajennettava kattamaan myös hankintaprosessi raaka-aineesta mahdollisiin väli-tuotteisiin ja hankintalogistiikka. Tällöin energiatehokkuustarkastelu kattaa koko toimitusketjun ja sisältää myös markkinoinnin, toimitukset loppuasiakkaille ja paluulogistiikan. Energiatehokkuustarkastelun laajuuden kasvaessa laskennasta tulee yhä monimutkaisempi prosessi, johon sisältyvät kaikki toimitusketjun eri vaiheet raaka-aineesta asiak- kaille tehtäviin toimituksiin asti.

Energiatehokkuuden mittaaminen

Logistiikan toimialalla ei ole vakiintunutta tapaa mitata energiankulutusta tai energiatehokkuutta. Toimitusketjun mittaamisen vakiintuneet järjestelmät mittaavat tyypillisimmin kustannustehokkuutta ja asiakastyytyväisyyttä. Ympäristövaikutusten mittaaminen ja erityisesti energiatehokkuuden mittaaminen on toimitusketjun hallinnassa vielä melko harvinaista. Yleisimmin energiatehokkuutta on mitattu rajaamalla tarkastelu kuljetusketjuihin koko toimitusketjun sijasta. Perinteisesti kuljetusketjujen ympäristövaikutusten tarkastelun painopiste on ollut toimitusketjujen keskeisten toimintojen analysoinnissa ja suurin osa logistiikassa käytetyistä energiatehokkuuden mittareista liittyy kuljetussuoriteisiin ja kuljetusketjuihin.

Logistiikan energiatehokkuuteen on olemassa erilaisia mittareita, mutta koko toimitusketjun kattava mittaamisen menetelmä puuttuu. Koko toimitusketjun tarkastelu on tärkeää paitsi kokonaisuuden mittaamiseksi ja osaoptimoinnin välttämiseksi, myös energiaa kuluttavien osavaiheiden tunnistamisessa ja energiatehokkuustoimenpiteiden kohdistamisessa. Keskeisenä päätelmänä tässä tutkimuksessa on, että logistiikan energiatehokkuuden mittaamista tarvitaan ja mittareita tulee edelleen kehittää. Logistiikan energiatehokkuuden mittaamisen tavoitteena on tuottaa tietoa koko toimitusketjun energiatehokkuudesta kattuen ketjun eri logistiset toiminnot, kuten hankinnan, kuljettamisen, tuotannon, varastoinnin jne. Mittaamisen onnistumisen kannalta tarkasteltavat toimitusketjut tulee kuvata tarkasti ja tarvittavia tietoja tulee kerätä toimitusketjun jokaiselta osalta. Logistiikan energiatehokkuutta voidaan mitata seuraavilla mittareilla: kokonaisenergiankulutus, hiilijalanjälki, polttoaineen kulutus, sähkön kulutus, veden kulutus, lämmön kulutus, kuljetusten yksikköpäästöt, ajoneuvokohtainen energiankulutus, suoritekohtainen ominaisenergiankulutus, toimitusaika, toimitusfrekvenssi, kuormausaste, toimitusvarmuus, kuljetussuorite, kuljetusintensiteetti ja kuljetusjalanjälki.

Toimitusketjujen energiatehokkuuden mittaamisessa on huomattava yleiset mittaamiseen liittyvät rajoitteet. Yksittäinen mittari mittaa todellisuutta vajavaisesti, eivätkä ne yhteensäkään kuvaa kokonaisuutta välttämättä tarkasti. Mittareiden valintaan tulee kiinnittää huomiota, jotta mitataan oikeita asioita oikealla tavalla. Tuotekohtaisen energiankulutuksen laskeminen kattuen koko toimitusketjun edellyttää huolellista tarkastelua erityisesti toimitusketjun alkupäässä eli raaka-aineiden kuljetusten ja valmistuksen osalta, jotta energiankulutus on mahdollista kohdentaa oikein kullekin tuotteelle.

Toimitusketjujen energiankulutus

Tässä tutkimuksessa on tarkasteltu metalli- ja paperiteollisuuden toimitusketjujen energiatehokkuutta kumulatiivisen energiankulutuksen ja hiilidioksidipäästöjen avulla. Tutkit- tavia case-yrityksiä oli kaksi, ja kummassakin yrityksessä tarkasteltiin toimitusketjuja raaka-aineiden hankinnasta aina tuotteiden toimittamiseen asiakkaille Keski- ja Etelä-Eurooppaan.

Tässä tutkimuksessa toimitusketjun energiatehokkuutta mitattiin taserajalla, joka sisältää hankinnan, tuotannon ja lähtölogistiikan. Tulosten perusteella kumulatiivinen energiankulutus soveltuu hyvin energiatehokkuuden indikaattoriksi, joka kuvaa energiankulutusta koko toimitusketjussa ja sen eri osissa. Kumulatiivisia energiankulutuslukuja tarkasteltaessa on huomattava, että vaikka jonkin toiminnon osuus vaikuttaa kokonaiskulutukseen suhteutettuna pieneltä, voi yksittäisen toimitusketjun osan merkitys koko toimitusketjun energiatehokkuuden kannalta olla tärkeää.

Tutkimuksessa tarkastellut teollisuuden alat ovat hyvin energiaintensiivisiä, jolloin tuotannolla on suuri osuus kokonaisenergiankulutuksessa. Tuotannon osuudeksi muodostuu noin kaksi kolmasosaa koko toimitusketjun aikaisesta energiankulutuksesta. Raaka-aineiden hankinta eli raaka-aineiden valmistus ja kuljetus vastaa noin 20–28 % kokonaisenergiankulutuksesta. Raaka-aineiden kuljetukset saattavat sisältää pitkiä kuljetusmatkoja, sillä raaka-aineita hankitaan globaalisti. Kuljetusten osuudeksi energiankulutuksesta tarkastelluissa toimitusketjuissa muodostuu 11–13 % koko energiankulutuksesta. Siten kuljetusketjun valinta vaikuttaa tutkituissa toimitusketjuissa 1–4 prosenttiyksikköä kokonaisenergiankulutukseen. Kuljetusketjujen valinnoilla ja energiatehokkuusparannuksilla voidaan osaltaan vaikuttaa koko toimitusketjun kustannustehokkuuteen ja energiatehokkuuteen. Tarkasteltujen toimitusketjujen kuljetusketjut ovat hyvin pitkälle optimoituja. Kuljetukset ovat luonteeltaan bulkkikuljetuksia, joissa täyttöaste saadaan korkeaksi. Yritykset myös suosivat energiatehokkaita ja kustannustehokkaita kuljetusmuotoja.

Paperi- ja metalliteollisuusteollisuuden toimitusketjutarkasteluissa saadut kuljetusketjujen ja logistiikan energiankulutuksen osuutta kuvaavat tulokset ovat samaa suuruusluokkaa kuin tekstiiliteollisuudessa (Browne et al. 2005) and pienemmät kuin esimerkiksi autoteollisuudessa (Sundarakani et al. 2010), elintarviketeollisuudessa ja huonekaluteollisuudessa (Rizet et al. 2008).

Varastojen ja satamaoperaatioiden osuus kokonaisenergiankulutuksesta jää kumulatiivisessa tarkastelussa verrattain pieneksi. Tarkasteltujen tuotteiden varastot ovat usein avovarastoja, joiden energiankulutus on pieni. Uudelleen kuormaukset kuljetusvälineistä toisiin ovat verrattain nopeita suorittaa, jolloin niiden osuus kokonaisenergiankulutuksesta jää pieneksi. Tulokset eivät kuitenkaan ole suoraan yleistettävissä muille teollisuuden toimialoille. Toimialasta riippuen kumulatiivisen energiankulutuksen osuudet eri toimialoille voi näyttää hyvin toiseltaiselta.

Kuljetusketjujen energiatehokkuus

Tutkittujen kuljetusketjujen laskentatulokset osoittavat, että kuljetuksilla voidaan vaikuttaa logistiikan kokonaisenergiankulutukseen. Tutkittujen kuljetusketjujen laskentojen pohjalla käytettiin case-yritysten todellisia kuljetettuja tonnimääriä. Laskennoissa tarkasteltiin energiankulutusta (MJ/tuotetonni) ja hiilidioksidipäästöjä (kg/tuotetonni). Tutkittaviksi kohteiksi valittiin tärkeimpiä asiakkaita kiinnostavilta markkina-alueilta. Tarkastelluissa kuljetusketjuissa laivakuljetuksilla on merkittävä rooli energiankulutuksessa ja syntyvissä hiilidioksidipäästöissä. Esi- ja jatkokuljetusten osalta laskelmat osoittavat junakuljetusten olevan hieman energiatehokkaampaa autokuljetuksiin verrattuna. Laskelmia vertailtaessa tulee kuitenkin aina ottaa huomioon kuljetusmuodoista toiseen tehtävien välilastauksien ja purkujen energiankulutus ja niihin kuluva aika sekä mahdolliset väliavarastoinnit.

Perusteellisuudella on erinomaiset mahdollisuudet hyödyntää käytettävän kuljetusyksikön (kontti, auto, juna tai laiva) kapasiteetti ja lisäksi perusteellisuus käyttää kuljetusjärjestelmässään kaikkia kuljetusmuotoja mukaan lukien rautatie- ja merikuljetuksia. Tämä tulos saattaa liittyä vain perusteellisuuden yrityksiin, joiden logistiset virrat ovat hyvin suuria, joten sitä ei voi yleistää kaikille toimialoille ja pienemmille pk-yrityksille sopivaksi. Toisaalta sama tilanne näyttää olevan laatuajattelun suhteen. Usein laadun kehittämi-

seen panostaneet logistiikkaoperaattorit ovat myös kustannustehokkaimpia ja myös energiatehokkaita. Tämä on aika luonnollinen tulos, koska dokumentoidun laatujärjestelmän laatineet yritykset ovat keskittyneet omien liiketoimintaprosessien kehittämiseen sekä mahdollisimman korkealaatuiseen tapaan operoida näitä prosesseja. Jatkuvan parantamisen periaate on yksi keskeinen perusta laadun kehittämistyössä ja se antaa hyvät lähtökohdat myös energiatehokkuuden parantamiseen.

Merikuljetuksissa perusteellisuus käyttää tyypillisesti aikarahdattuja aluksia, jossa teollisuusyritys maksaa kaikki laivan käyttökustannukset. Linjalaivoilla kuljetetaan lähinnä tuotteita, jotka ovat yksiköitävissä tai käsiteltävissä laadukkaasti ja tehokkaasti. Käyttämällä aikarahdattuja aluksia kuljetusasiakas tekee myös laivan operointiin liittyvät päätökset koskien esimerkiksi laivan reittiä, aikataulua ja käytettävää nopeutta. Näillä operatiivisilla päätöksillä on suoraan vaikutuksia kuljetuskustannuksiin ja myös käytetyn energian määrään. Vaikka päätöksenteossa ei suoraan fokuisoitaisikaan ympäristönäkökulmia, teollisuusyritykset tekevät kuitenkin energian käyttöä minimoivia ja siten ympäristön kannalta myönteisiä päätöksiä pyrkiessään optimoimaan kustannustehokkuutta ja asiakaspalveluun liittyviä ominaisuuksia. Toisaalta perusteellisuusyritykset ovat laatineet yhtiön ympäristöpolitiikkaa ja muita yhteiskuntavastuulliseen toimintaan liittyviä kannanottoja, joka tarkoittaa käytännössä sitä, että esimerkiksi tiekuljetuskaluston on täytettävä tietyt laatu- ja päästökriteerit. Merkittävät kuljetusasiakkaat vaikuttavat siten merkittävästi kumppanuusverkostojensa kautta yleiseen ympäristötietoisuuden laajenemiseen ja energiatehokkuuden paranemiseen kuljetusjärjestelmätasolla.

Kuljetustavan valintaan vaikuttavia tekijöitä ovat asiakasvaatimukset, määräpaikka, tuote, toimitusmäärä, toimitusaika, kuljetusaika, toimituksen kiireellisyys, laatuvaatimukset, tuotteen herkkyys, välilastaukset, kuljetuskustannukset, tarjottu frekvenssi, sopimukset, pakkaustyyppi, toimitusehto, kuljetusehto, kapasiteetti ja painorajoitteet. Nämä kaikki tekijät ovat myös välillisesti yhteydessä energiatehokkuuteen.

Kuljetusmuodon valintaan vaikuttavat siis asiakkaan tuotteelle asettamat vaatimukset eli miten tuotteet esimerkiksi pakataan ja suojataan. Asiakkaan omat purku- ja varastointimahdollisuudet vaikuttavat myös kuljetustapaan ja edelleen pakkausvaatimuksiin. Pakkausvaatimuksiin voi vaikuttaa myös asiakkaan ympäristötietoisuus. Pakkaus voi olla asiakkaalle myös haitta, koska siitä seuraa väistämättä ylimääräinen työvaihe. Laatuvaatimuksista puhuttaessa yksi tärkeä kuljetustavan valintaan vaikuttava tekijä on tuotteen vaurioherkkyys. Vaurioherkkyys vaikuttaa esimerkiksi siihen, miten tuote kestää käsittelykertoja. Laadultaan herkempiä tuotteita toimitetaan mahdollisimman vähillä käsittelykerroilla. Tuotepalautteet ja reklamaatiot vaikuttavat energiatehokkuuteen mm. ylimääräisinä kuljetuksina ja uudelleentoimituksina. Siksi esimerkiksi käsittelyvaurioiden minimoimiseen on kiinnitettävä huomiota. Tuotevaurioiden estämiseksi asiapapereissa tulisi olla kirjattuna tarkat ja määritellyt kuljetusohjeet, jotta käytetään oikeita käsittelytapoja huolellisen toiminnan lisäksi.

Kuljetuspalvelujen laatuvaatimukset ovat kasvaneet ja toimitettavat eräkoot asiakkaille ovat koko ajan pienentyneet. Samoin toimitusten frekvenssivaatimukset ovat kasvaneet. Tämä näkyy muun muassa suorien autotoimitusten lisääntyneenä määränä. Eräkokojen pienentyminen aiheuttaa osaltaan vaatimuksia toimituksiin ja tarvitaan paljon vaihtoehtotarkastelua ja tasapainoilua energiatehokkaan kuljetusmallin löytämiseksi.

Yhteiskuntavastuu toimitusketjun hallinnassa

Yhteiskuntavastuun tunnistaminen ja merkitys on kasvamassa ja erityisesti metsäteollisuudessa tällaisten osa-alueiden painottamisessa omassa liiketoiminnassa on jo pitkät perinteet. Esimerkiksi käytettävän puuraaka-aineen alkuperä on oltava todennettavissa. Samoin tässä tutkimuksessa tarkastellussa metsäteollisuuden case -yrityksessä on tehty toimitusketjuihin liittyviä energiatehokkuus- ja päästölaskelmia. Lisäksi sekä metalli- että metsäteollisuudessa on ollut havaittavissa suurta kiinnostusta energiatehokkuuden kehittä-

tämiseen ja vihreään logistiikkaan. Kuitenkin asiakkaiden lisääntyvät odotukset palveluista, toimitusajan lyhenemisestä ja toimitusvarmuuden paranemisesta asettavat haasteita yrityksen toimitusketjun hallinnalle ja energiatehokkuuden paranemiselle. Logistinen suorituskyky on selvästi kriittinen ulottuvuus asiakastytyvyyden saavuttamisessa. Asiakaspalvelu on yrityksen logistisen järjestelmän tehokkuuden mittari ja asiakaspalvelun taso vaikuttaa sekä olemassa olevien asiakkaiden pysymiseen että uusien asiakkaiden saamiseen. Asiakaspalvelun taso vaikuttaa suoraan yrityksen logistiikan kustannuksiin ja yritysten kannattavuuteen. Koska logistiikka ja kuljetukset ovat merkittävä osa asiakaslähtöistä kansainvälistä liiketoimintaa ja sen menestymistä, myös asiakkaiden toiveet ja tarpeet on otettava huomioon toimintoja kehitettäessä.

Suurin haaste on yhdistää asiakasohjautuvuus tuotanto- ja logistiikkaprosessien tehokkuuden optimointiin, joka edellyttää lisäksi useiden osapuolten ja organisaatioiden saumatonta yhteistyötä mukaan lukien myyntitoiminnot, tuotannon, logistiikan ja logistiikkaoperaattoreiden toiminnot. Saumattomalla yhteistyöllä päästään hyödyntämään laajaa yhteistä tietovirtaa ja tiimien voimaa, mikä puolestaan mahdollistaa päällekkäisyyksien poiston ja tehokkaamman toiminnan. Myös osaoptimointia voidaan vähentää yhteistyön kautta. Informaatiovirtojen hallinta ja läpinäkyvyys eri toimintojen välillä on tärkeää, sillä toiminta voi olla energiatehokasta vain, kun asiat tehdään kerralla oikein ja kuljetuksellisista tiedoista tiedetään mm. toimitusehdot, toimitusosoitteet, toimitusmahdollisuudet jne. Esimerkiksi kuljetusten käyttöastetta ja poikkeustilanteisiin varautumista voidaan parantaa, kun tiedonkulku eri toimintojen välillä on saumatonta.

Energiatehokkuuden tehostaminen ja vihreä logistiikka edellyttää myös kumppaneiden välistä luottamusta, yhteisiä tavoitteita sekä kunkin osapuolen odotusten ja arvojen ymmärtämistä. Toimitusketjun energiatehokkuuden parantamisessa on tärkeää, että tieto ja vastuu energiatehokkuudesta eivät katkeaisi missään toimitusketjun vaiheessa ja eri toimintojen välillä. Käytännössä jokainen toimija kuitenkin vastaa omasta toiminnastaan, jolloin keskusteluyhteydellä ja yhteistyösopimuksilla voidaan edesauttaa ja tukea energiatehokkuuteen tähtääviä tavoitteita. Olennainen osa energiatehokkuuden kehittämistä on yrityksen toimitusketjun osapuolten välisen yhteistyön kehittäminen. Yrityksen tulisi myös keskittyä enemmän pitkäaikaisiin strategisiin kumppanuussuhteisiin, jolloin esimerkiksi mahdollisesta energiatehokkuuden raportoinnista saadaan läpinäkyvää ja energiatehokkuustoimenpiteistä voidaan laatia pidemmän tähtäimen suunnitelmia.

Logistiikan energiatehokkuustoimenpiteet

Toimitusketjun hierarkkisessa päätöksenteossa energiatehokkuuden kannalta tärkeimmät päätökset tehdään tuotannon suunnittelussa ja tuotesuunnittelussa. Tämä tarkoittaa sitä, että koko toimitusketjun tarkastelun merkitys kasvaa. Energiatehokkuuden kannalta eniten potentiaalia on tuotesuunnittelussa, tuotannon suunnittelussa ja hankintaprosessien kehittämisessä. Metall- ja paperiteollisuudessa energiatehokkuuden kannalta tärkeimpiä toimia ovat hankintalogistiikan ja tuotannon suunnittelun toimenpiteet. Lähtölogistiikan ja kuljetusten suunnittelun merkitys jää perusteellisuudessa pienemmäksi kuin muiden toimenpideryhmien. Tulokset eivät ole suoraan yleistettävissä muille teollisuuden toimialoille, sillä esimerkiksi kokoonpanoteollisuudessa tuotannon energiankulutuksen suhteellinen merkitys on pienempi kuin perusteellisuudessa. Perusteellisuudessa lähtölogistiikan ja kuljetusten suunnittelun osuus ei ole kuitenkaan merkityksetön, sillä myös näiden alueiden toimenpiteillä voidaan vaikuttaa niin energiatehokkuuteen kuin kustannustehokkuuteenkin.

Laskentatulosten perusteella energiatehokkuuden kannalta edullisimmat toimitusketjut ovat yleensä myös kustannustehokkaimpia. Tyypillisesti ympäristövaikutusten vähentämistä tavoittelevat logistiikkaoperaattorit ovat myös tehokkaita kumppaneita prosessiteollisuuden yrityksille. Strategiset päätöksentekoprosessit korostuvat kustannustehokkaiden ja ympäristövastuullisten toimitusketjujen muodostamisessa. Logistiikkastrategia on

keskeinen osa yrityksen resurssien suunnittelua ja toimintamallin rakentamista sekä suhteita tavarantoimittajiin. Energiatehokkuuden parantaminen tukee parhaimmillaan kustannustehokkuustavoitteita. Tämän hankkeen case-tutkimukset osoittavat, että vaikka yritykset eivät tee toimitusketjuun liittyviä valintoja energiatehokkuuden tai energian käytön minimoinnin perusteella, kuljetusketjuissa on päädytty energiatehokkaihin vaihtoehtoihin. Vaikka päätöksenteko ja logistiset valinnat tehdään kustannustehokkuuden ja asiakaspalvelunäkökulmien perusteella, näillä perusteilla tehty ratkaisut ovat myös energiatehokkaimmat. Yrityksissä logistiikka ja sen kehittäminen nähdään myös osana yrityksen strategista suunnittelua, johtamista ja hallintaa. Logistiikkaa pidetään kilpailukykyä tuovana strategisena tekijänä. Kilpailukykyä pyritään parantamaan logistisella toiminnan tehokkuuden, toimitusvarmuuden, joustavuuden, sopimuspolitiikan ja verkoston kehittämisen kautta. Nämä kaikki ovat myös oleellisia kulmakiviä energiatehokkuuden parantamiselle. Energiatehokkuuden kannalta haasteita tuovat erilaiset kiiretilanteet. Kiiretilanteita aiheuttavat muun muassa tuotannolliset syyt. Tämä tarkoittaa sitä, että tuotteet eivät valmistu tuotannosta suunnitellussa ajassa, jolloin kuljetuksia joudutaan suunnittelemaan uudestaan ja esimerkiksi laivojen täyttöasteet voivat jäädä tästä syystä vajaaksi. Myöhässä valmistuneita tuotteita joudutaan kuljettamaan asiakkaille kiiretoimituksina jälkeensä.

Logistiikan kehittämisessä on tunnistettavissa yritysten hierarkkiset päätöksentekoprosessit, sillä strategisella tasolla tehty päätökset rajaavat myöhemmissä vaiheissa tehtäviä taktisia ja operatiivisia päätöksiä. Strategiset päätökset, jotka liittyvät esimerkiksi tuotesuunnitteluun ja tuotevalikoimaan, ohjaavat toimitusketjun rakennetta ja hallintaa. Toimitusketjun rakenne puolestaan rajaa kuljetuserien, toimitustapojen ja yksittäisen kuljetuksen suunnittelun mahdollisuuksia. Siirryttäessä hierarkiatasolla alemmas operatiiviselle tasolle mahdollisuudet energiatehokkuuden parantamiseen pienenevät, ja kyse on tyypillisesti yksittäisten toimitusten suunnittelusta.

Logistiikan energiatehokkuuden toimialakohtaisuus

Logistiikan energiatehokkuustutkimuksessa olisi tärkeää suunnata eri toimialoille toimitusketjun energiatehokkuustarkasteluja ja koota tehdyistä tarkasteluista toimialakohtaisia tunnuslukuja energiatehokkuustoimenpiteiden suunnitteluun. Tässä tutkimuksessa tehty perusteellisuuden case-tarkastelut osoittavat, että toimialakohtaiset erot toimitusketjun energiatehokkuudessa ovat huomattavan suuria. Eri toimialoilta saatavien esimerkkien perusteella olisi mahdollista muodostaa toimialakohtaisia toimitusketjun yleisiä kuvauksia, joiden avulla olisi mahdollista tunnistaa energiatehokkuuden parantamisen kannalta tärkeitä toimenpiteitä.

Jo nykyisin tarjolla on keskimääräisiä laskenta-arvoja sisältäviä arviointi- ja laskenta-työkaluja kuljetusketjujen tarkasteluun, mutta muiden toimitusketjun osien energiankulutusarvoja ei ole vastaavalla tavalla saatavissa. Tämä helpottaisi myös toimialojen keskinäistä vertailua sekä eri toimialoille vakiintuneiden toimintatapojen energiatehokkuuden vertailun. Globaalissa toimintaympäristössä toimitusketjuista muodostuu helposti hyvin monimutkaisia, sillä raaka-aineiden hankinta-alueet ja toisaalta valmiiden tuotteiden markkina-alueet ovat usein maailmanlaajuisia. Yleisten toimitusketjukuvausten avulla energiatehokkuustarkasteluja olisi karkealla tasolla mahdollista tehdä, vaikka koko toimitusketjun osalta lähtötietoja ei olisi käytettävissä.

Lähteet

- Aronsson, H. & Huge Brodin, M. 2006. The environmental impact of changing logistics structures. *The International Journal of Logistics Management*. Vol. 17, No. 3, 2006. s. 394–415.
- Beamon, B. M. 2005. Environmental and Sustainability Ethics in Supply Chain Management. *Science and Engineering Ethics* (2005) 11, s. 221-234.
- Bhatnagar, R. & Viswanathan, S. 2000. Re-engineering global supply chains – Alliances between manufacturing firms and global logistics service providers. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, Vol. 30 No. 1, 2000, s. 13-34.
- Bhutta, K.S., Huq, F., Frazier, G. & Mohamed, Z. 2003. An integrated location, production, distribution and investment model for a multinational corporation. *International Journal of Production Economics* 86 (2003), pp. 201-216.
- Bowersox, D.J. 1990. The strategic benefits of logistics alliances. *Harvard Business Review*, July-August 1990, s. 36-45.
- Brewer, P.C. & Speh, T.W. 2001. Adapting the balanced scorecard to supply chain management. *Supply Chain Management Review*, Vol. 5 No. 2, s. 48–56.
- Browne, M., Rizet, C., Anderson, S., Allen, J. and Keita, B. 2005. Life Cycle Assessment in the Supply Chain: A Review and case study. *Transport Reviews*, Vol. 25, No. 6, 761–782.
- EcoTransIT. 2010. The Ecological Transport Information Tool [online]. Saatavissa: www.ecotransit.org [29.3.2010].
- Bräysy, O. 2007. Optimoinnin hyödyt kunnallisissa kuljetuksissa ja palveluissa. Jyväskylän yliopisto.
- Bäckström, S. 2008. Beräkning av miljödata för godstransporter. NTM Nordiska Nätverket för Transporter och Miljö.
- Caputo, A.C., Pelagagge, P.M. & Scacchia, F. 2003. Integrating transport systems in supply chain management software tools. *Industrial Management & Data Systems* 103/7 (2003). s. 503-515.
- Carbon Trust, 2006. Carbon footprints in the supply chain: the next step for business.
- Carbon Trust, 2008. Guide to PAS 2050 How to assess the carbon footprint of goods and services. Carbon Trust, Department for Environment, Food and Rural Affairs, British Standards (BSI).
- Carter, C. R. & Rogers, D. S. 2008. A framework of sustainable supply chain management: moving toward new theory. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, Volume 38, Number 5 (2008), s. 360-387.
- Christopher, M. 2000. The Agile Supply Chain – Competing in Volatile Markets. *Industrial Marketing Management* 29 (2000), s. 37-44.

Christopher, M., Lowson, R., Peck, H. 2004. Creating agile supply chains in the fashion industry. *International Journal of Retail & Distribution Management*, Volume 32, Number 8 (2004), s. 367-376.

Christopher, M., Jia, F. Khan, O., Mena, C., Palmer, A. & Sandberg, E. 2007. Global Sourcing and Logistics. Logistics Policy project number - LP 0507. Cranfield University. Department of Transport.

Coyle, J.J., Bardi, E.J. & Langley Jr., C. J. 1996. The management of business logistics. West Publishing Company. Minneapolis.

De Brito, M. 2003. Managing Reverse Logistics or Reversing Logistics Management? Erasmus University. Rotterdam. 324 s.

EcoTransIT. 2009. The Ecological Transport Information Tool (EcoTransIT). <http://www.ecotransit.org/>

EPD 2009. Environmental Product Declaration. PCR Basic Module. CPC Division 65: Freight Transport Services. Version 1.0 Dated 2009-02-17. www.environdec.com

Epstein, M.J. & Wisner, P.S. 2001. Using a Balanced Scorecard to Implement Sustainability. *Environmental Quality Management*. Winter 2001. Vol. 11, Iss. 2, pp 1-10.

Fernández, I. 2004. Reverse Logistics Implementation in Manufacturing Companies. *Acta Wasaensia* 127, *Industrial Management* 8. 225 s.

Gadde, L-E. & Snehota, I. 2000. Making the most of supplier relationships. *Industrial Marketing Management* 29 (2000), s. 305-316.

Gunasekaran, A., Patel, C. & McGaughey, Ronald E. 2004. A framework for supply chain performance measurement. *International Journal of Production Economics* 87 (2004). s. 333-347.

Hensher D.A. & Button K.J. 2003. *Handbook of Transport and the Environment*. Elsevier Ltd. 2003.

Heriot-Watt University 2007. Transport Management - a Literature Review. Green Logistics Project Work Module 1. January 2007.

Hervani, A., Helms, M. & Sarkis, J. 2005. Performance measurement for green supply chain management. *Benchmarking: An International Journal*, Vol. 12 No. 4, 2005 s. 330-353.

Hesse, M. & Rodrique, J-P. 2004. The transport geography of logistics and freight distribution. *Journal of Transport Geography* 12 (2004). s. 171-184.

Iikkanen, P. 2004. Toimialojen kuljetusintensiteetit. Liikenne- ja viestintäministeriön julkaisu 26/2004. Helsinki.

IPCC, 2007. IPCC Fourth Assessment Report, Working Group III. Chapter 5 Transport and its infrastructure.

Jasch, C. 2000. Environmental performance evaluation and indicators. *Journal of Cleaner Production*, Vol 8, No. 1. s. 79-88.

Kinder, T. 2003. Go with the flow – a conceptual framework for supply relations in the era of the extended enterprise. *Research Policy* 32 (2003), s. 503-523.

Khoo, H.H., Spedding, T.A., Bainbridge, I. & Taplin, D. 2001. Creating a green supply chain. *Greener Management International* (35). s. 71-88.

Kotabe, M. & Murray, J.Y. 2004. Global sourcing strategy and sustainable competitive advantage. *Industrial Marketing Management* 33 (2004), s. 7-14.

Kovács, G. 2008. Corporate environmental responsibility in the supply chain. *Journal of Cleaner Production* 16 (2008). s. 1571-1578.

Léonardi, J. & Baumgartner, M. 2004. CO2 efficiency in road freight transportation: Status quo, measures and potential. *Transportation Research Part D* 9 (2004). s. 451-464

Liedes, M. & Arposalo, A. 2006. Kuljetusketjujen energiakatselmus (KAEMUS). Liikenne- ja viestintäministeriön julkaisu 46/2006. Helsinki.

Liimatainen, H. 2007. Taloudelliseen ajotapaan kannustavat järjestelmät kuljetusyrityksissä. Diplomityö, Tampereen teknillinen yliopisto, tuotantotalouden osasto. Tampere.

Markley, M.J. & Davis, L. 2007. Exploring future competitive advantage through sustainable supply chains. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management* Vol. 37 No. 9, 2007. s. 763-774.

McIntyre, K., Smith, H., Henham, A. and Pretlove, J. 1998. Environmental performance indicators for integrated supply chains: the case of Xerox Ltd. *Supply Chain Management*. Volume 3, Number 3, s. 149-156.

McKinnon, A. C. 1999. A Logistical perspective on the fuel efficiency of road freight transport. Report presented to the Workshop on Improving fuel efficiency in road freight: the role of information technologies organised by the International Energy Agency and European Conference of Ministers of Transport, Paris, 24th February 1999.

McKinnon, A. 2003. Logistics and environment. In: Hensher D.A. and Button K.J. (editors): *Handbook of Transport and the Environment*. Elsevier Ltd. s. 665-685.

Minner, S. 2003. Multiple-supplier inventory models in supply chain management: A Review. *International Journal of Production Economics* 81-81 (2003), s. 265-279.

Murphy, P. R. and Poist, R. F. 2003. Green perspectives and practices: a "comparative logistics" study. *Supply Chain Management*. Volume 8. Number 2. s. 122-131

NTF Conference. 2007. Innovative Logistics – an answer to the environmental challenge?

NTM (The Network for Transport and Environment), 2004. Nya miljöområdet. Rapport NTM – 2004 [online]. Saatavissa: www.ntm.a.se [29.3.2010].

Pohjola, T. 1999. Environmental modelling system – A framework for cost-effective environmental decision-making processes. *FEMDI Research Series* 12. Helsinki.

Porter, M.E. 1985. *Competitive Advantage: Creating and Sustaining Superior Performance*. The Free Press, New York.

Pöllänen, M., Kallberg, H., Kalenoja, H. & Mäntynen, J. 2006. Autokannan tulevaisuustutkimus. Ajoneuvohallintokeskuksen tutkimuksia ja selvityksiä. Helsinki.

Quariguasi Frota Neto, J., Walther, G., Bloemhof, J., van Nunen J.A.E.E. and Spengler, T. 2007. A methodology for assessing eco-efficiency in logistics networks. *European Journal of Operational Research* (2007), doi:10.1016/j.ejor.2007.06.056

Quariguasi Frota Neto, J., Bloemhof-Ruwaard, J.M., van Nunen J.A.E.E. & van Heck, E. 2008. Designing and evaluating International Journal of Production Economics 111 (2008), s. 195–208.

Rantala, J. 2006. Operations Model of Future Transport in Basic Manufacturing Industry. Thesis for the degree of Doctor of Technology, Tampere University of Technology, Publication 598, Tampere.

Rao, P. & Holt, D. 2005. Do green supply chains lead to competitiveness and economic performance? *International Journal of Operations & Production Management*, Vol. 25, No. 9, 898–916.

Rizet, C., Browne, M., Léonardi, J., Allen, J. and Cornélis, E. 2008. Energy efficiency and greenhouse gas emissions of different supply chains: a comparison of French, UK and Belgian cases. *European Transport Conference*, 06-08 Oct 2008, Leiden, The Netherlands.

Rogers, D. & Tibben-Lembke, R. 1998. *Going Backwards: Reverse Logistics Trends and Practices*. University of Nevada, Reno. Center for Logistics Management. 275 s.

Ruzzenenti, F. & Basosi, R. 2008. The rebound effect: An evolutionary perspective. *Ecological economics* 67. s. 526 – 537.

Sakki, J. 2003. Tilaus-toimitusketjun hallinta. Logistinen B-to-B -prosessi. Jouni Sakki Oy. Espoo. 2003.

Samli, A.C., Browning, J.M. & Busbia, C. 1998. The Status of Global Sourcing as a Critical Tool of Strategic Planning: Opportunistic Versus Strategic Dichotomy. *Journal of Business Research* 43 (1998), s. 177-187.

Sanchez-Rodrigues, V. 2006. Supply Chain Management, Transport and the Environment - A Review. *Green Logistics Consortium Working Paper*. November 2006.

Sarkis, J. 2003. A strategic decision framework for green supply chain management. *Journal of Cleaner Production* 11 (2003) 397–409.

Schwarz, J., Beloff, B. & Beaver, E. 2002. Use Sustainability Metrics to Guide Decision-Making. *Chemical Engineering Progress*. Vol. 98, Issue 7, s. 58-63.

Seuring, S. & Müller, M. 2007. Core Issues in Sustainable Supply Chain Management - a Delphi Study. *Business Strategy and the Environment*. (2007). Interscience Wiley. s. 1–13.

Shah, N. 2005. Process industry supply chains: Advances and challenges. *Computers and Chemical Engineering* 29 (2005). s. 1225-1235.

Shepherd, C. & Günter, H. 2006. Measuring supply chain performance: current research and future directions. *International Journal of Productivity and Performance Management*. Vol. 55, No. 3/4. s. 242–258.

- Sheu, J-B., Chou, Y-H. & Hu, C-C. 2005. An integrated logistics operational model for green-supply chain management. *Transportation Research Part E*, Vol. 41. s. 287–313.
- Srivastava, S. K. 2007. Network design for reverse logistics. *International Journal of Management Science*. Omega 36 (2008) 535–548.
- Stock, G.N., Greis, N.P. & Kasarda, J.D. 2000. Enterprise logistics and supply chain structure: the role to fit. *Journal of Operations Management* 18 (2000), s. 531-547.
- Sundarakani, B. de Souza, R., Goh, M. Wagner, S.E. and Manikandan, S. 2010. Modeling carbon footprints across the supply chain. *International Journal of Production Economics*, doi:10.1016/j.ijpe.2010.01.018.
- Talluri, S. & Narasimhan, R. 2004. A methodology for strategic sourcing. *European Journal of Operational Research* 154 (2004). s. 236-250.
- Tsoufas, G.T. & Pappis, C.P. 2008. A model for supply chains environmental performance analysis and decision making. *Journal of Cleaner Production*, Vol 16, s. 1647-1657.
- Tukker, A., Eder, P., Charter, M., Haag, E., Vercalsteren, A. & Wiedmann, T. 2001. Eco-design: The State of Implementation in Europe - Conclusions of a State of the Art Study for IPTS. *The Journal of Sustainable Product Design*, Vol. 1, s. 147–161.
- Tuomaala M. 2007. Conceptual Approach to Process Integration Efficiency. Doctoral dissertation. Otamedia. Espoo.
- VTT. 2005. LIPASTO-laskentajärjestelmä. <http://lipasto.vtt.fi/>
- Wu, H-J. & Dunn, S.C. 1995. Environmentally responsible logistics system. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*. Vol. 25, No. 2. s. 20-38.
- Zhu, Q., Sarkis, J. and Lai, K-H. 2007. Confirmation of a measurement model for green supply chain management practices implementation. *International Journal of Production Economics*, 111, s. 261–273.